

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Samer Tomelieh

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Samer Tomelieh

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na savjetima, objašnjenjima i stručnoj pomoći u pisanju ovoga rada.

Želim se zahvaliti svojoj obitelji što su mi omogućili studiranje na željenom fakultetu i bili potpora kroz cijeli studij i podržavali me u svim situacijama na koje sam naišao tokom studiranja.

Također, zahvaljujem se svim kolegama koji su bili uz mene tokom studija.

Samer Tomelieh



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Samer Tomelieh**

Mat. br.: 0035187941

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija sustava skladištenja višestruke dubine**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Optimization of deep-line storage systems**

Opis zadatka:

S ciljem ostvarivanja bolje iskoristivosti skladišnog prostora (odnosno većeg skladišnog kapaciteta na raspoloživom prostoru) razvijeni su razni sustavi skladištenja s višestrukom dubinom skladištenja. Rezultirajuća iskoristivost skladišne površine ovisi, uz zadane sve ostale parametre, o odabranoj dubini skladištenja te se može govoriti o optimalnoj dubini skladištenja.

U radu je potrebno:

- Pojasniti pojam skladištenja višestruke dubine, te prikazati regalne i podne sustave skladištenja s takvom karakteristikom.
- Korištenjem dostupnih izvora ilustrirati problematiku određivanja optimalne dubine skladištenja, pri čemu je kriterij optimizacije potrebna skladišna površina.
- Uzevši podno blok odlaganje u linije višestruke dubine kao referentno, napraviti tablice i grafičke prikaze za odabir optimalne dubine skladištenja (pretpostavka korištenja EURO paleta).
- Napraviti programsku aplikaciju za određivanje optimalne dubine skladištenja, s mogućnošću unosa/definiranja raznih parametara (broj artikala, količina zaliha, dimenzija jedinice skladištenja, dimenzije skladišne lokacije, dinamika izuzimanja i sl.).

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

Izv.prof. dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
POPIS KRATICA	VI
1. UVOD.....	1
2. OSNOVE SKLADIŠNIH SUSTAVA I PROCESA	2
2.1. Vrste skladišta	4
2.2. Sredstva za skladištenje	5
2.3. Transportni sustavi u skladištu	6
3. IZVEDBE SKLADIŠTA S VIŠESTRUKOM DUBINOM SKLADIŠTENJA	9
3.1. Vrste podnog skladišta	10
3.2. Vrste regalnih skladišta	12
3.2.1. Klasični paletni regali	12
3.2.2. Paletni regali dvostruke dubine	13
3.2.3. Prolazni regali	14
3.2.4. Protočni regali	15
3.2.5. Protočni regali s guranjem.....	16
3.3. Neiskorišteni prostor u obliku saća „honeycombing“	17
3.4. FIFO i LIFO metoda izuzimanja jediničnih tereta	19
4. OPTIMALNA DUBINA SKLADIŠTENJA	22
4.1. EURO paleta.....	23
4.2. Razlika EURO i GMA palete	25
4.3. Orijentacija EURO palete	26
4.4. Osnovni pojmovi u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja	28
4.5. Problematika višestruke dubine skladištenja	32
4.6. Optimalna dubina skladištenja za „lot-for-lot“ metodu izuzimanja jediničnih tereta	38
4.7. Optimalna dubina skladištenja za „regular whithdrawl“ metodu izuzimanja jediničnih tereta	40
5. APLIKACIJA ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNE DUBINE SKLADIŠTENJA.....	44
5.1. Upotreba potprograma za izračun potrebne površine skladištenja prema broju JT i dubini skladištenja	45
5.2. Upotreba potprograma za određivanje optimalne dubine skladištenja lot-for-lot metodom izuzimanja	49
5.3. Upotreba potprograma za određivanje optimalne dubine skladištenja regular whithdrawl metodom izuzimanja	51
6. ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA.....	54

PRILOG	55
--------------	----

POPIS SLIKA

Slika 1.	Skladišne zone i tokovi materijala između zona [2]	3
Slika 2.	Vrste sredstava za skladištenje [1]	5
Slika 3.	Osnovna podjela viličara [1]	8
Slika 4.	Podno skladištenje u blokove [1]	10
Slika 5.	Podno skladištenje u redove [1]	11
Slika 6.	Klasični paletni regali (eng. <i>Single-Deep Pallet Rack</i>) [7]	13
Slika 7.	Paletni regali dvostruke dubine (eng. <i>Double-Deep Pallet Rack</i>) [8]	14
Slika 8.	Prolazni regali (eng. <i>Drive-In Rack, Drive-Through Rack</i>) [9]	15
Slika 9.	Protočni regali (eng. <i>Pallet Flow Rack</i>) [10]	16
Slika 10.	Protočni regali s guranjem (eng. <i>Push Back Rack</i>) [11]	17
Slika 11.	Horizontal honeycombing [6]	18
Slika 12.	Vertical honeycombing [6]	18
Slika 13.	EURO paleta [5]	23
Slika 14.	Potrebna skladišna površina za EURO paletu	24
Slika 15.	Moguće orijentacije EURO palete	26
Slika 16.	Dimenzije orijentiranih paleta (lijevo – uzdužno, desno – poprečno)[13]	27
Slika 17.	Jedinični teret (eng. <i>load</i>)	28
Slika 18.	Stup, stub (eng. <i>column</i>)	29
Slika 19.	Stog, gomila (eng. <i>stack</i>)	30
Slika 20.	Parcela (eng. <i>lot</i>)	30
Slika 21.	Parametri u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja	31
Slika 22.	Primjer A – dubina skladištenja 10 jedinica [12]	32
Slika 23.	Primjer B – dubina skladištenja 5 jedinica [12]	33
Slika 24.	Faktor za regular <i>whitdrawl</i>	34
Slika 25.	Skica skladišta s 15 stubova i dubinom 8 JT	39
Slika 26.	Skica skladišta s 16 stubova i dubinom 5 JT	41
Slika 27.	Početna strana aplikacije za optimiziranje skladišta	44
Slika 28.	Pomoć pri upotrebi potprograma za izračun potrebne površine	45
Slika 29.	Pomoćni potprogram za izračun potrebne površine	46
Slika 30.	Potprogram za izračun potrebne površine skladištenja	46
Slika 31.	Dodatno pojašnjenje pojma gomila	47
Slika 32.	Primjer A iz problematike skladištenja	48
Slika 33.	Primjer B iz problematike skladištenja	48
Slika 34.	Objašnjenje potprograma <i>lot-for-lot</i> metodom izuzimanja	49
Slika 35.	Potprogram za izračun optimalne dubine skladištenja <i>lot-for-lot</i>	50
Slika 36.	Objašnjenje <i>regular whitdrawl</i> metode izuzimanja JT	51
Slika 37.	Proračun optimalne dubine skladištenja <i>regular whitdrawl</i> metodom izuzimanja	52

POPIS TABLICA

Tabela 1. FIFO metoda primjer.....	20
Tabela 2. LIFO metoda primjer	20
Tabela 3. Usporedba američkog i europskog standarda za skladištenje	23
Tabela 4. Faktor za određivanje potrebne skladišne površine [12]	34
Tabela 5. Površina stoga ovisno o dubini skladištenja [12].....	35
Tabela 6. Broj stogova na parceli [12]	35
Tabela 7. Potreban broj dana da se isprazni jedan stog [12].....	36
Tabela 8. Parametri za Primjer A i B [12]	36
Tabela 9. Optimalna dubina skladištenja za <i>lot-for-lot</i> metodu izuzimanja tereta ...	38
Tabela 10. Optimalna dubina skladištenja za <i>regular whithdrawl</i> metodu izuzimanja tereta	40
Tabela 11. Prosječna popunjenost skladišnih lokacija <i>regular whithdrawl</i> metoda.....	42
Tabela 12. Gubitak skladišnog prostora po danu	43

POPIS OZNAKA

Za fizikalne veličine navedene u radu korištene su sljedeće (latinične) oznake:

<i>B</i>	m	širina
<i>L</i>	m	duljina
<i>A_u</i>	m ²	površina uzdužno orijentiranih paleta
<i>A_p</i>	m ²	površina poprečno orijentiranih paleta
<i>A_{uk}</i>	m ²	ukupna potrebna skladišna površina

Popis osnovnih i izvedenih jedinica SI sustava

Veličina	Jedinica		
	Naziv	Znak	Vrijednost
duljina	metar	m	-
masa	kilogram	kg	-
vrijeme	sekunda	s	-
duljina	milimetar	mm	1 mm = 10 ⁻³ m
vrijeme	dan	d	1 d = 86400 s
duljina	inch	"	1" = 0,0254 m
duljina	stopa	ft	1 ft = 0,3048 m

POPIS KRATICA

[FIFO](#) – eng. *First In First Out*

[LIFO](#) – eng. *Last In First Out*

JT – jedinični teret

N.J. – novčana jedinica

[COGS](#) – eng. *Cost of Goods Sold*

SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je optimizacija skladišnih površina s višestrukom dubinom skladištenja. Rad je podijeljen u tri glavna poglavlja u kojima se opisuje teorija skladištenja, podna i regalna skladišta te problematika skladišta s višestrukom dubinom i proračuni za pronalaženje optimalne dubine skladištenja temeljeni na literaturi Arta Liebskinda „*How to Increase Your Warehouse Capacity*“.

U uvodnom i zaključnom poglavlju objašnjava se problematika optimiziranja skladišnih površina, pronalaženja i odabira rješenja te njihovog utjecaja na iskoristivost. Kroz cijeli rad daju se određeni savjeti pri optimizaciji skladišnih površina.

Ključne riječi: skladište, optimizacija, dubina skladištenja, podna skladišta, regalna skladišta

1. UVOD

U današnjici, gotovo svako poduzeće koje unutar pogona ima tok materijala, za početnu i konačnu lokaciju materijala ima skladište. Skladište u industrijskom poduzeću je mjesto uređeno i opremljeno za privremeno i sigurno odlaganje, čuvanje, pripremu i izdavanje materijala. [1] S obzirom da skladište predstavlja zastoje u toku materijala i ne pridonosi vrijednosti robe koja se u njemu nalazi potrebno je smanjiti njegov utjecaj na troškove, vrijeme i učinkovitost cijelog toka materijala.

Postoje različite metode smanjenja negativnih posljedica skladišta na tok materijala gdje fokus pri rješavanju problema može biti veličina samog skladišta, transportna sredstva unutar skladišta, sredstva za skladištenje, vrste skladišnih objekata, minimiziranje investicijskih troškova i mnogi drugi.

Jednu od najvažnijih uloga u minimiziranju troškova imaju parametri skladištenja jediničnih tereta, naročito u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja gdje je najvažniji parametar dubina skladištenja. Prilikom projektiranja skladišta proračun se vrši tako da se duljina (korak), širina (raspon, brodovi/lađe) i visina nastoje odrediti iz samog toka materijala koji direktno utječe na izgled skladišnih lokacija, a time i na ukupnu skladišnu površinu. Pri izradi proračuna potrebno je razmotriti više različitih mogućih rješenja i odabrati ono koje nosi minimalne troškove, a ujedno i najbrži tok materijala. Rezultirajuća iskoristivost površine ovisi, uz zadane sve ostale parametre, o odabranoj dubini skladištenja te se može govoriti o optimalnoj dubini skladištenja.

Cilj ovoga rada bio je prilagoditi tehnike optimiziranja skladišnog prostora i pronalaženja optimalne dubine skladištenja koje su navedene u 4. poglavlju knjige Arta Liebskinda „*How to Increase Your Warehouse Capacity*“ europskim normama i metričkim jedinicama. Radi boljeg razumijevanja izrađene su skice koje pojašnjavaju određene pojmove korištene u literaturi. Na kraju samog rada prikazana je izrađena aplikacija koja služi kao pomoć u boljem razumijevanju proračuna optimalnih dubina skladištenja, a koja prati pretpostavke i proračune opisane u radu.

2. OSNOVE SKLADIŠNIH SUSTAVA I PROCESA

Skladište u industrijskom poduzeću je mjesto (ploština ili prostor) uređeno i opremljeno za privremeno i sigurno odlaganje, čuvanje, pripremu i izdavanje materijala. Glavna zadaća skladišta je dinamičko uravnoteženje tokova materijala, količinski i prostorno, u svim fazama proizvodnog procesa. Ako je glavna svrha transporta u industriji ostvarivanje tokova materijala, tada je opskrba materijalom svih korisnika u poduzeću glavna svrha skladišta. [1]

Skladištenje je planirana aktivnost kojom se materijal dovodi u stanje mirovanja. Skup svih aktivnosti s materijalom u skladištu predstavlja skladišni proces, a uobičajeni naziv skladište podrazumijeva skladišni sustav. Glavne komponente skladišnog sustava su:

- skladišni objekti (zgrade, uređene površine...),
- sredstva za skladištenje i sredstva za odlaganje materijala (sredstva za oblikovanje jediničnih tereta),
- transportna sredstva,
- pomoćna skladišna oprema (računalna oprema, oprema za pakiranje, sredstva za paletizaciju i depaletizaciju, za kontrolu i mjerenje, ...) te dodatna oprema (protupožarna, za grijanje i klimatizaciju, rasvjetu, za održavanje čistoće, ...).

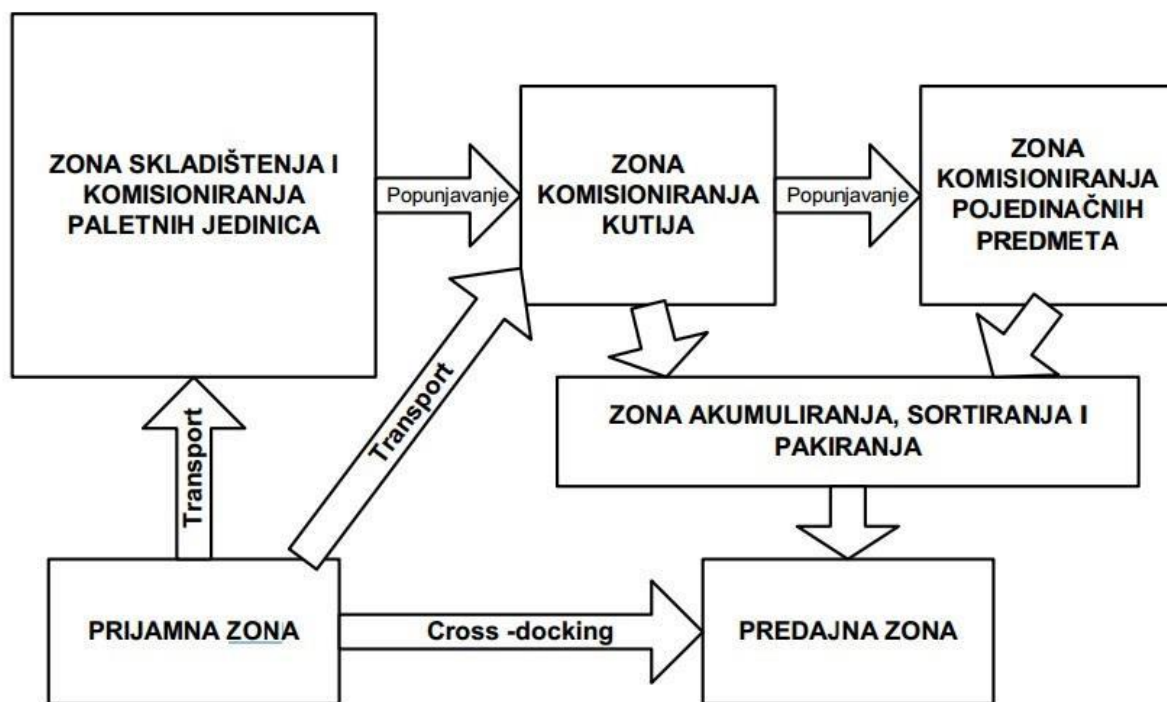
Skladišni proces najčešće podrazumijeva ove aktivnosti:

- istovar i preuzimanje materijala (i dokumenata),
- kontrola materijala (u fazi preuzimanja, za vrijeme čuvanja na skladištu, u fazi izdavanja),
- sortiranje, paletizacija (formiranje skladišnih jedinica) i depaletizacija,
- transport i odlaganje materijala u skladištu, čuvanje, zaštita i održavanje materijala,
- prikupljanje, sortiranje i pripremanje materijala za izdavanje (za ove aktivnosti često se koristi naziv i komisioniranje), otpis i inventura materijala,
- evidentiranje svih događaja i promjena u vezi s materijalom, održavanje skladišne i transportne opreme [1]

Oblikovanje skladišta (oblikovanje skladišne zone) podrazumijeva:

- oblikovanje prostornog rasporeda (eng. *layout*)
 - veličina i oblik skladišta
 - raspored, veličina i oblik zona
 - lokacija opreme, prolaza i puteva
- oblikovanje sustava za rukovanje materijalom
 - odabrana skladišna, transportna i ostala oprema
- oblikovanje podsustava (građevinski objekti, ventilacijski, električni, svjetlosni, sanitarni, sigurnosni, ...)
- proces toka materijala
- proces toka informacija

Prema [2] skladišni procesi su sve one aktivnosti koje se odvijaju unutar i između skladišnih zona. Postoje četiri osnovna potprocesa: prijem, uskladištenje, komisioniranje i izdavanje.



Slika 1. Skladišne zone i tokovi materijala između zona [2]

Prilikom procesa skladištenja materijal je stacionaran i brzina toka materijala jednaka je nuli. Materijal u stacionarnom stanju ne dobiva na vrijednosti te povećava ukupne troškove proizvodnje. Činjenica je da u velikoj većini proizvodnih procesa postoji i proces skladištenja, planiranog ili neplaniranog, te se vodeći tom činjenicom nastoji uvijek unaprijediti i optimirati proces skladištenja. Može se zaključiti da svako skladištenje unutar proizvodnog sustava povećava troškove i na temelju toga se javljaju mnoge teorije i tehnike za optimizacijom skladištenja kao što su npr. *Lean Production*, *KANBAN*, *Just in Time* i druge.

Kako bi se ispravno pristupilo procesu skladištenja potrebno je proučiti vrste skladišta i tehnike skladištenja i prema proračunima odrediti najpovoljniji oblik koji će troškove tog procesa dovesti na minimum. Jedna od tehnika uštede je i minimalizacija potrebnog prostora čime se bavi i ovaj rad.

2.1. Vrste skladišta

Pri procesu optimizacije skladišne površine potrebno je i odrediti odgovarajuću vrstu skladišta prema materijalu koji će se u njemu skladištiti. Postoje mnoge podjele skladišta ovisno o kategorijama podjele, a jedna od njih je prema [2] na:

1. Podna skladišta:

- u blokove
- u redove

2. Regalna skladišta:

- paletni regali
- polični regali
- prolazni regali
- protočni regali
- konzolni regali
- prijevozni regali
- AS/RS skladišta

Detaljna objašnjenja i prikazi ovih vrsta skladišta i njihovih izvedbi referentnih za ovaj rad biti će prikazane u poglavlju 3.

2.2. Sredstva za skladištenje

Jedna od osnovnih komponenti skladištenja su i sredstva za skladištenje. Upotrebom sredstava za skladištenje olakšava se rukovanje materijalom, njegovo skladištenje i transport. Sredstva za skladištenje mogu imati dvostruku zadaću: sredstva za zahvat materijala i sredstva za ostvarenje jediničnih tereta. Prema [1] najčešća sredstva za odlaganje komadnog materijala su palete, sanduci, stalci, kutije, kasete, košare, posebne izvedbe i dr. Na Slici 2 prikazane su najčešće vrste sredstava za odlaganje:

1,2 – ravna paleta s nastavcima

3,4 – kutijaste palete (boks-palete)

5 – ravna paleta – dvostrana

6 – ravna paleta – četverostrana

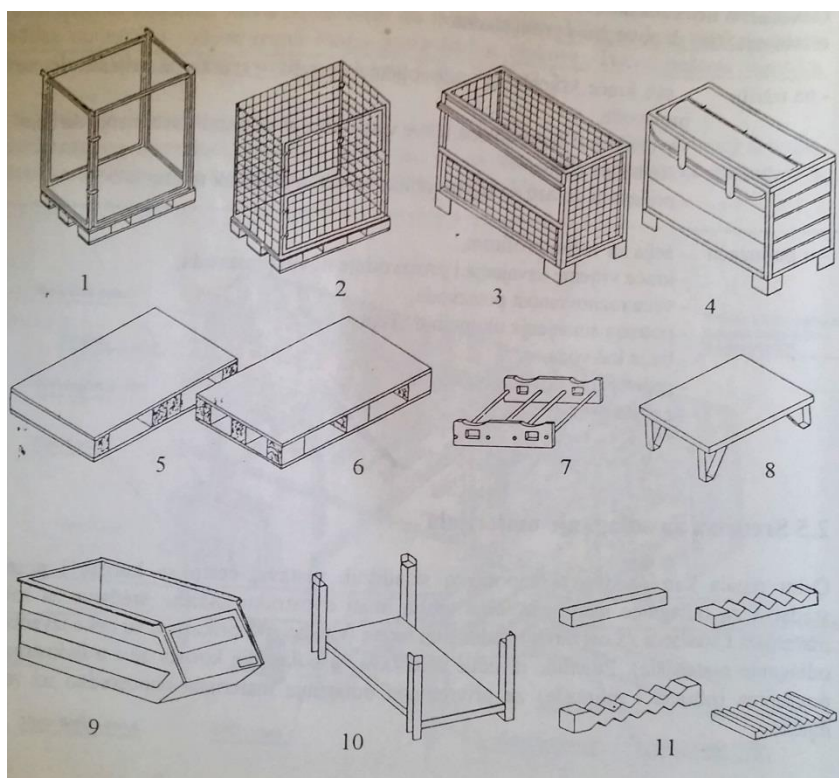
7 – paleta za bačve

8 – ravni stalak

9 – kutija (mali kontejner)

10 – nasložni stalak

11 – podlošci



Slika 2. Vrste sredstava za skladištenje [1]

Korištenjem sredstava za oblikovanje jediničnih tereta pri skladištenju i odlaganju komadnog materijala humanizira se rukovanje materijalom, smanjuju se troškovi i omogućava se automatizacija tokova materijala u proizvodnim procesima. Jedan ili više komada postavljenih na posebna sredstva čine jedinični teret (eng. *Unit load*) kojim se rukuje jednim zahvatom ili koji se odlaže na jedno mjesto. [1] Jedan od najvažnijih oblika sredstava za oblikovanje jediničnih tereta je i EURO paleta koja se najčešće koristi na europskom području, a upotrebljena je i za svrhe proračuna u ovom radu. Također, prilikom upotrebe pojma jediničnog tereta u ovom radu podrazumijeva se upotreba jedne EURO palete s njenim pripadajućim sadržajem odnosno materijalom koji se na njoj nalazi.

2.3. Transportni sustavi u skladištu

Prema [2] transportni sustav je podsustav logističkog sustava poduzeća sa zadatkom ostvarivanja sveukupnog transportnog procesa, odnosno ostvarivanja kretanja između okoline i poduzeća, unutar poduzeća između pogona, unutar pogona između odjela, unutar odjela između strojeva. Transportni sustav dijeli se, prema području pripadnosti, na sustav vanjskog transporta i sustav unutrašnjeg transporta, dok se prema stupnju razvoja dijeli na ručne (manualne) sustave, mehanizirane sustave koji koriste mehaničke uređaje za transport i manipuliranje teretima i automatizirane, računalno upravljane sustave gdje su tokovi materijala i informacija računalno podržani.

Transportni sustav čine:

- transportna sredstva
- dodatna i pomoćna sredstva za rukovanje materijalom (sredstva za oblikovanje jediničnog tereta, sredstva za zahvat materijala, sredstva za promjene smjera toka materijala, za razdvajanje i odjavanje toka, za sortiranje, pomoćna ergonomska oprema)
- transportni putevi, prolazi, rampe
- ostala oprema i uređaji (upravljački uređaji, protupožarni, sigurnosni uređaji, oprema za identifikaciju, označavanje, vaganje,...) [2]

Transportna sredstva su ona koja omogućuju prenošenje i rukovanje materijalom, smatraju se osnovnom komponentom transportnog sustava. Postoji više podjela transportnih sredstava ovisno o kategorizaciji, no osnovna podjela je na sredstva prekidnog transporta i sredstva neprekidnog transporta. Osnovna razlika je ta što sredstva prekidnog transporta proces obavljaju u ciklusima, dok sredstva neprekidnog transporta vrše proces rukovanja materijalom neprekidno.

Prema [2] neki od primjera sredstava prekidnog transporta su granici, podna transportna sredstva (ručna i motorna vozila), jednostavni transportni uređaji (dizalice, vitla,...) i ostala transportna sredstva (dizala, žičare,...). Primjeri neprekidnih sredstava transporta su razni konvejeri, elevatori ili klizne staze.

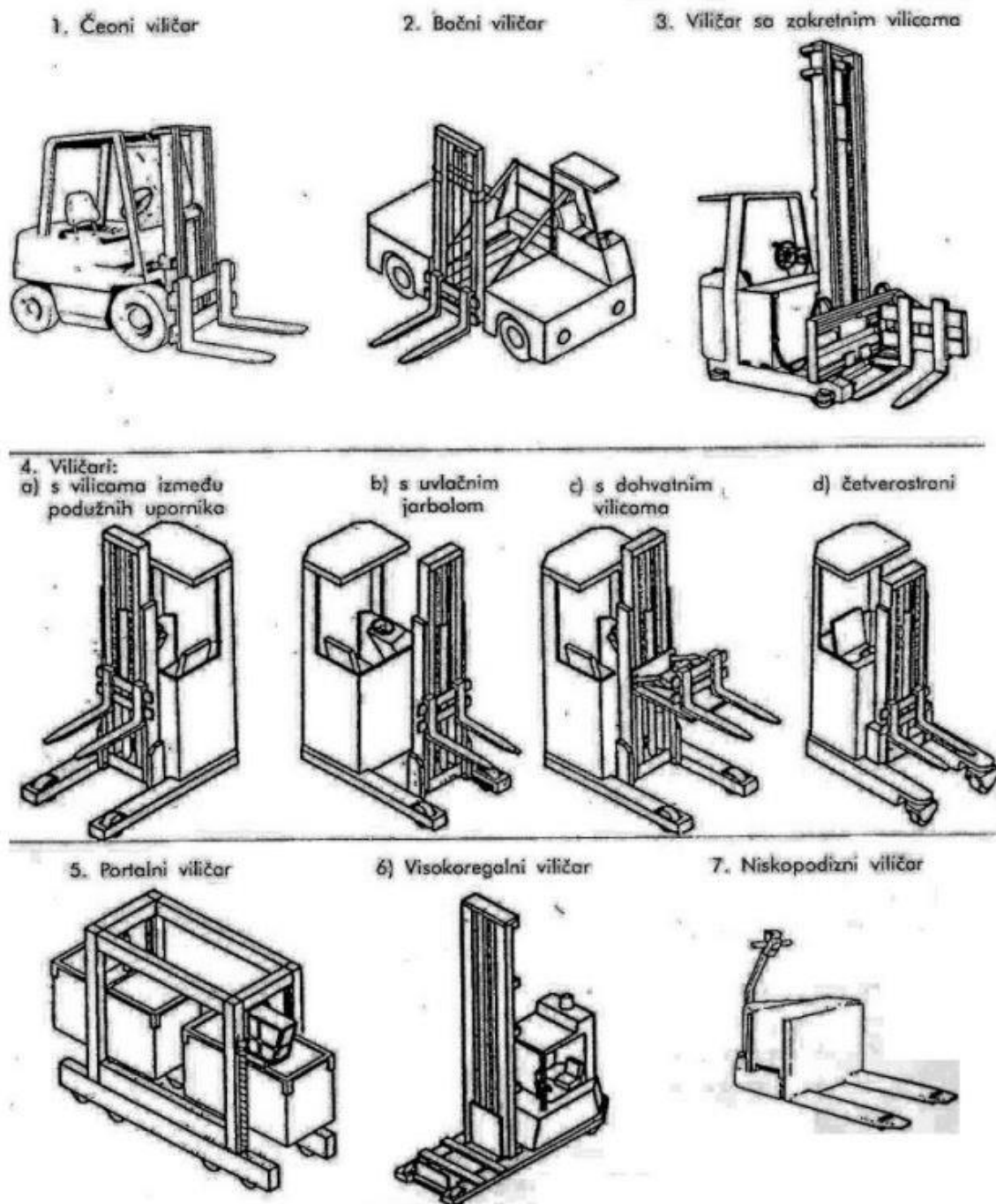
Neki od najkorištenijih transportnih uređaja su viličari koji spadaju u podna transportna sredstva, a koji se danas mogu naći gotovo u svakom skladištu nekog pogona. Postoje brojne podjele viličara, prema [2] to su podjele prema: pogonu, položaju težišta u odnosu na vozilo, pristupu vilica teretu, broju kotača, mjestu vozača i mnoge druge.

Osnovna podjela viličara prema tipu izvedbe [1]:

- čeon
- bočni
- viličari sa zakretnim vilicama
- skladišni viličari
- portalni viličari
- visokoregalni viličari
- niskopodizni viličari
- sabirni viličari

Podjela je prikazana i na Slici 3.

Prilikom izrade proračuna za optimizaciju skladišta pretpostavljeno je da se za transport paleta koristi čeon viličar te da širina prolaza iznosi 3,6 metara, odnosno pola širine prolaza iznosi 1,8 metara. Ova dimenzija je naročito bitna prilikom samog proračuna jer se u potrebnu površinu za skladištenje paleta uzima u obzir i površina pola širine prolaza za viličara.



Slika 3. Osnovna podjela viličara [1]

3. IZVEDBE SKLADIŠTA S VIŠESTRUKOM DUBINOM SKLADIŠTENJA

U ovom poglavlju prikazati će se izvedbe podnih i regalnih skladišta s višestrukom dubinom skladištenja. Radi boljeg razumijevanja takvih izvedbi, prikazane su također i izvedbe podnog skladištenja u redove te regalnog skladišta s klasičnim paletnim regalima. Kako su od značaja za skladišta višestruke dubine FIFO i LIFO principi skladištenja te pojava „*honeycombinga*“, na kraju poglavlja daju se detaljnija obrazloženja tih pojmova.

U poglavlju 2.1 navedene su osnovne vrste skladišta. Prema [2] jedna od mnogih podjela skladišta je na:

1. Podna skladišta:

- u blokove
- u redove

2. Regalna skladišta:

- paletni regali
- polični regali
- prolazni regali
- protočni regali
- konzolni regali
- prijevozni regali
- AS/RS skladišta

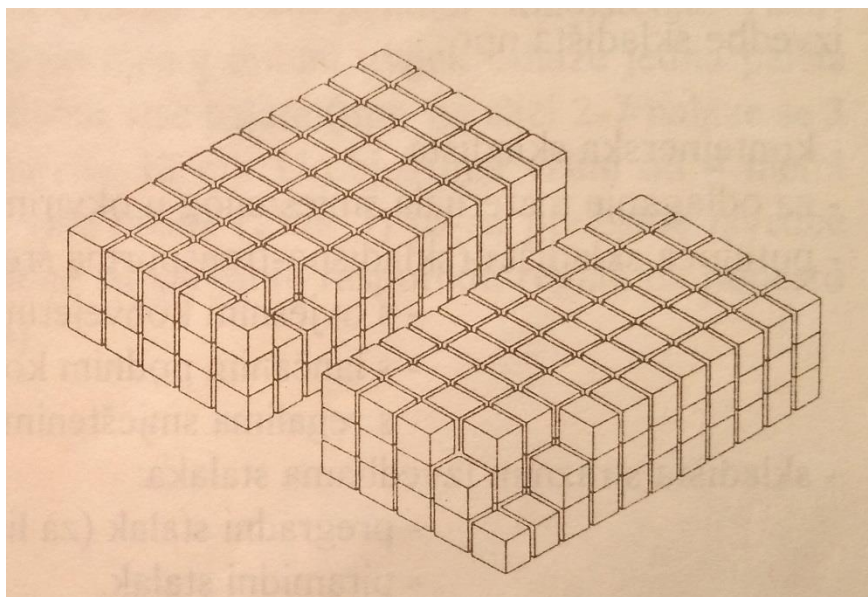
Jedan od najjednostavniji oblika skladišta je podno skladište koje karakterizira nedostatak regala za smještaj materijala. Upotreba ove vrste skladišta česta je u slučaju kada su potrebni niski investicijski troškovi za skladištenje što je ujedno i najveća prednost ovog tipa skladištenja.

Prema vrsti materijala koji se mogu skladištiti u podnim skladištima postoje sipki materijali koji se skladište slobodnim nasipavanjem ili gomilanjem te komadni materijali koji se mogu skladištiti slobodnim odlaganjem bez određenog rasporeda, slaganjem jedinica u blokove i slaganjem jedinica u redove. [2]

Iako je podno skladištenje jedno od najjednostavnijih načina skladištenja to je ujedno i najneracionalniji način skladištenja te se primjenjuje jedino u slučajevima kada je to nužno ili kada se investicijski troškovi skladištenja nastoje dovesti u minimum. U industrijskim poduzećima je češća upotreba regalnih skladišta koji daju veću fleksibilnost skladištenja. Iako nose veće investicijske troškove u samom početku, u većini slučajeva se isplativost pokazuje nakon dugoročne eksploatacije.

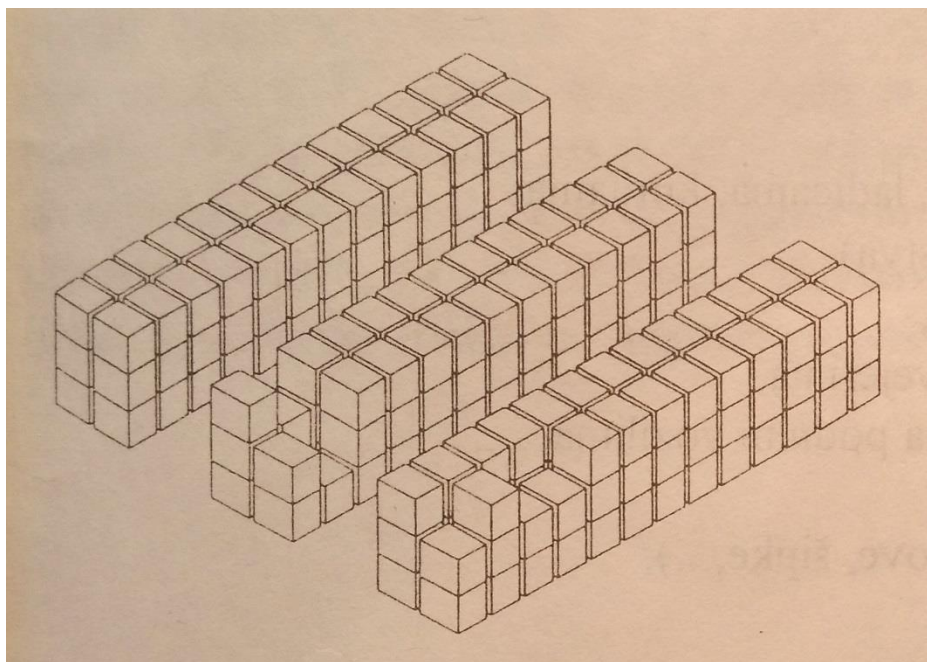
3.1. Vrste podnog skladišta

Kako bi se povećala iskoristivost podnog skladištenja primjenjuje se naslagivanje jediničnih tereta tamo gdje je to dopušteno. Naslagivanje jediničnih tereta uvelike ovisi o dopuštenoj nosivosti palete prilikom naslagivanja, da ne bi došlo do uništavanja materijala na paleti ili palete zbog mase samog materijala. Visina naslagivanja najčešće iznosi do 5 m, a na visinu utječu razni čimbenici: značajke materijala, stabilnost jedinice skladištenja, kakvoća poda, transportno sredstvo, vrijeme zadržavanja materijala u skladištu i dr. [1] Prema [2] postoje dvije osnovne vrste organiziranog podnog skladišta: skladištenje u redove i skladištenje u blokove (eng. *block stacking*). Oba tipa imaju svoje prednosti i nedostatke, a izbor se svodi na minimiziranje troškova što je ujedno i najveća prednost podnog skladištenja. Prilikom razmatranja izbora treba uzeti u obzir količinu materijala koji se skladišti te vrstu materijala koja se skladišti.



Slika 4. Podno skladištenje u blokove [1]

Skladištenje u blokove naročito je prikladno u slučaju kada se u skladištu nalazi velika količina istovrsnog materijala odnosno kada je prisutan manji asortiman materijala. Prednost takvog načina skladištenja je što je moguć pristup svakoj vrsti jedinice skladištenja, ali nije moguć pristup svakoj jedinici skladištenja što donosi probleme. Jedna od prednosti blok skladištenja u odnosu na skladištenje u redove je veća iskoristivost prostora radi manje transportne površine potrebne za kretanje transportnih sredstava. Nedostatak je što je pristup jedinicama skladištenja ograničen jer nije moguć pristup svakoj jedinici skladištenja i moguć je pristup jedino najvišoj jedinici pa je tako i visina naslagivanja ograničena ili prostorom ili mogućnosti viličara. Također, prilikom korištenja skladišnih jedinica dolazi do pojave neiskorištenog prostora u obliku saća (eng. *honeycombing*) objašnjenog u poglavlju 3.3. Jedan od nedostataka podnog blok skladištenja je i što se prilikom upotrebe skladišnih jedinica ne koristi nužno FIFO (eng. *First In First Out*) metoda objašnjena u poglavlju 3.4. što može dovesti do više problema. Također, zbog nedostatka transportnih površina koje mogu služiti kao zaštitna zona postoji i određena mogućnost od požara.



Slika 5. Podno skladištenje u redove [1]

Iako ne spada u izvedbe s višestrukom dubinom skladištenja, skladištenje u redove prikazano je kako bi se dala osnovna ideja podnog skladištenja s jednostrukom dubinom te neke prednosti i nedostaci između prikazanog skladišta i skladištenja s višestrukom dubinom. Podno skladištenje u redove vrlo je slično

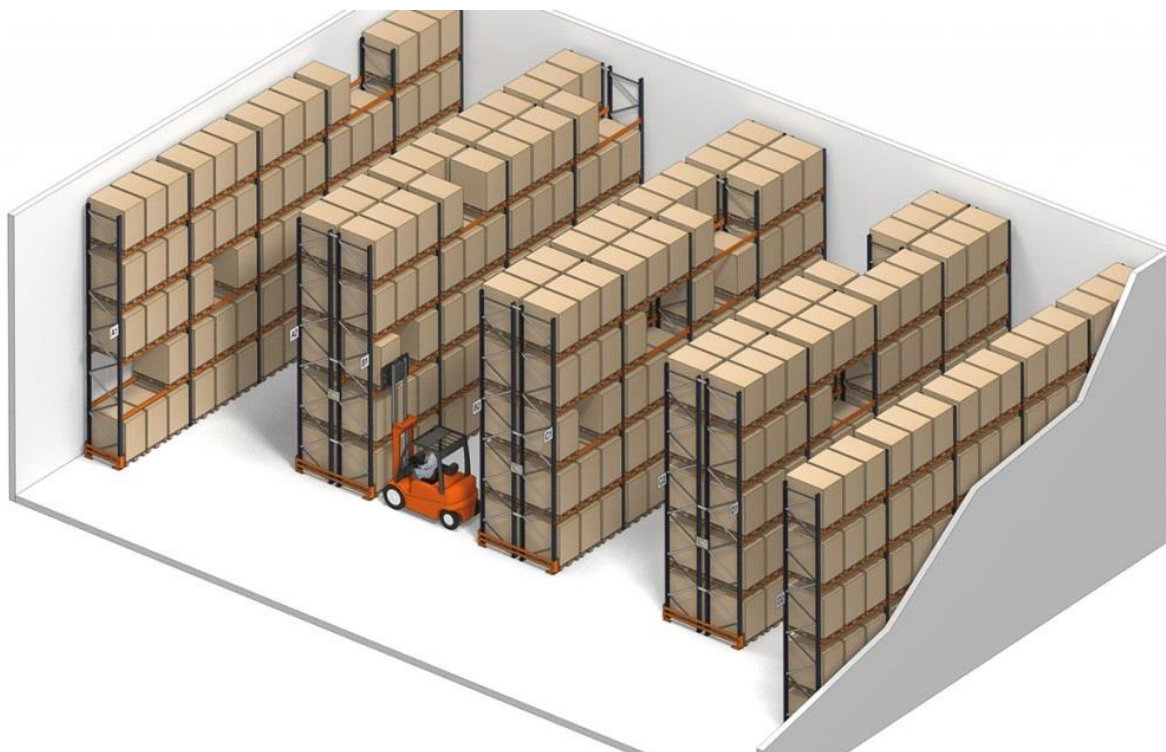
karakteristikama skladištenju u blokove no glavna razlika je što postoji više prolaza za viličare čime se omogućuje bolji pristup jedinicama skladištenja. Ovakav način skladištenja prikladniji je kada je prisutan veći asortiman materijala jer je moguć pristup svakoj jedinici skladištenja, ali je zato iskoristivost skladišne površine manja nego kod skladištenja u blokove. Iskoristivost kod ove vrste skladištenja prema [2] iznosi 20 do 30%. Kao i kod blok skladištenja, postoje mnogi nedostaci ovakve vrste skladištenja kao što su *honeycombing*, nedostatak FIFO metode, ograničenost visine skladištenja, nemogućnost pristupa pojedinim jedinicama skladištenja...

3.2. Vrste regalnih skladišta

U skladištima gdje postoji mogućnost za veće investicijske troškove u većini slučajeva se koriste regalna skladišta, koja za razliku od podnih skladišta koriste skladišne regale. Prednost regalnih skladišta u odnosu na podna je što je omogućena puno bolja iskoristivost visine s obzirom da nosivost palete nije odlučujući faktor pri naslagivanju jer masu tereta preuzimaju regali. Prednost regalnih skladišta je što prema izvedbi neki regali mogu koristiti FIFO, a neki LIFO metodu prilikom izuzimanja jediničnih tereta čime se daje veći izbor mogućih rješenja skladišta. Time regalna skladišta donose mnoge uštede u dugoročnom skladištenju jer eliminiraju negativne posljedice. Prema [2] iskoristivost skladišne površine iznosi 30-40%, uz mogućnost iskoristivosti skladišnih lokacija do 100%. Regalna skladišta naročito su prikladna kada se koriste višestruke dubine skladištenja. U sljedećim poglavljima navedene su i prikazane neke osnovne vrste regalnih skladišta.

3.2.1. Klasični paletni regali

Klasični paletni (eng. *Single-Deep Pallet Rack*) regali su najjednostavnije izvedbe regalnih skladišta. Iako ne spadaju u izvedbe skladišta s višestrukom dubinom skladištenja jer imaju fiksnu dubinu jednog jediničnog tereta, prikazani su u ovom poglavlju kako bi se bolje objasnile neke izvedbe regala temeljene na klasičnim paletnim regalima. Jedna od prednosti je što je tako omogućen pristup svakoj skladišnoj jedinici čime se u konačnici izbjegava nepovoljna pojava *honeycombing-a*. Nakon izuzimanja jednog jediničnog tereta sa skladišne lokacije, ona se otvara i pruža se mogućnost za skladištenje novog jediničnog tereta, na taj način skladišne lokacije su uvijek iskorištene i iskoristivost može iznositi i do 100%.



Slika 6. Klasični paletni regali (eng. *Single-Deep Pallet Rack*) [7]

3.2.2. Paletni regali dvostruke dubine

Paletni regali dvostruke dubine (eng. *Double-Deep Pallet Rack*) su varijanta izvedbe klasičnih regala gdje se dva klasična paletna regala sastavljaju zajedno kako bi se dobila dvostruka dubina skladištenja. Iako ni ovi regali ne spadaju u izvedbe s višestrukom dubinom skladištenja jer imaju fiksnu dubinu dva jedinična tereta, prikazani su u ovom dijelu poglavlja kako bi se čitatelju prikazala prednost većih dubina skladištenja u odnosu na klasične paletne regale. Prednost ovog načina skladištenja je što se smanjuje broj prolaza i povećava se iskoristivost skladišne površine, ali se pojavljuje mogućnost neiskorištenih skladišnih lokacija što u konačnici može rezultirati pojavom *honeycombing*-a i smanjenjem iskoristivosti lokacija. Jedan od nedostataka je što je za ovu vrstu skladišta potreban poseban viličar s vilicama dvostruke dubine.



Slika 7. Paletni regali dvostruke dubine (eng. *Double-Deep Pallet Rack*) [8]

3.2.3. Prolazni regali

Prolazni regali (eng. *Drive-In Rack*, *Drive-Through Rack*) omogućuju skladištenje veće količine istovrsnog materijala uz pomoć posebne opreme. Pet do deset skladišnih jedinica raspoređene su poput onih u regalima sa dvostrukom dubinom skladištenja. Stranice regala su raspoređene tako da oblikuju mjesta za odlaganje i slobodne prolaze transportnom sredstvu koje rukuje jediničnim teretima. Iskoristivost skladišne površine iznosi oko 75% dok je iskoristivost skladišnih lokacija oko 60%. [2] Nedostatak prolaznih regala je što viličari imaju vrlo malo prostora za kretanje pa skladištenje jediničnih tereta može trajati duže nego kod ostalih vrsta regalnih skladišta. Ova vrsta regala prilagođena je LIFO metodi izuzimanja jediničnih tereta na sličan način kao u podnom blok skladištu.



Slika 8. Prolazni regali (eng. *Drive-In Rack, Drive-Through Rack*) [9]

3.2.4. Protočni regali

Protočnim regalima (eng. *Pallet Flow Rack*) ostvaruje se dinamičko skladištenje komadnog materijala na principu FIFO metode izuzimanja gdje se jedinični teret kreće duž regala. Prema [2] postoje dva osnovna načina kretanja materijala:

- a) voznom stazom bez pogona, korištenjem sile teže – gravitacijski regali (kut nagiba 1-5%)
- b) voznom stazom s pogonom – vodoravna staza je horizontalno postavljena , a kretanje materijala ostvaruje se pomoću sredstava neprekidnog transporta (valjčane, lančane ili trakaste staze ili pruge) ili sredstvima prekinutog transporta s posebno izvedenim vozilima koja se kreću ispod jediničnog tereta

Iskoristivost skladišne površine je oko 75% , a popunjenost skladišnih lokacija oko 70%. Ovakav način skladištenja prikladan je za ona skladišta gdje postoji visoka protočnost

materijala jer se izuzeti jedinični teret automatski zamjenjuje drugim, no nedostatak je što su potrebni visoki investicijski troškovi.



Slika 9. Protočni regali (eng. *Pallet Flow Rack*) [10]

3.2.5. Protočni regali s guranjem

Protočni regali s guranjem (eng. *Push Back Rack*) svojom konstrukcijom omogućuju isključivo LIFO metodu izuzimanja jediničnih tereta. Jedinični tereti koji se već nalaze na skladišnim lokacijama se dolaskom novog jediničnog tereta pomiču na stražnje skladišne lokacije, dok se kod izuzimanja jediničnih tereta prvo izuzimaju oni s prednjih skladišnih lokacija. Takav način izuzimanja jediničnih tereta vrlo je efektivan jer se oni nalaze na optimalnoj lokaciji prilikom izuzimanja i nisu potrebni dodatni transporti.



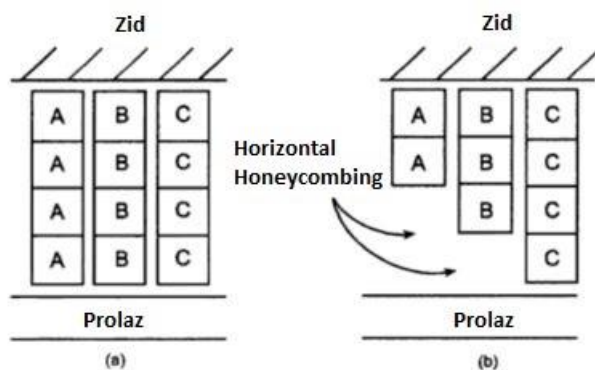
Slika 10. Protočni regali s guranjem (eng. *Push Back Rack*) [11]

3.3. Neiskorišteni prostor u obliku saća „honeycombing“

Prema [6] postoje dvije glavne karakteristike skladišnog prostora: iskorištenost transportne površine i količina neiskorištenog prostora (eng. *honeycombing*). Iskorištenost transportne površine pokazuje postotak koji zauzimaju prolazi (za tok materijala, ljudi i informacija) unutar cjelokupne skladišne površine. U ispravno projektiranim skladišnim prostorima postotak se nastoji svesti na minimum kako bi iskoristivost površine bila što veća. Postotak najviše ovisi o metodama skladištenja koje određuju broj prolaza nužnih za sigurni transport materijala i ljudi, pri čemu treba uzeti u obzir količinu materijala, transportnu intenzivnost i intenzitet toka ljudi unutar skladišta.

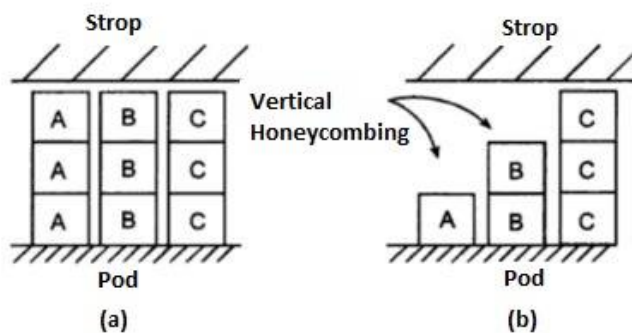
Neiskorištenost prostora (eng. *honeycombing*) definira se kao postotak izgubljenog skladišnog prostora radi neispravnog korištenja skladišnih jedinica. Do

ove pojave dolazi kada je slobodan prostor djelomično iskorišten odnosno nije iskorišten maksimum njegovih mogućnosti. *Honeycombing* se može dogoditi i u skladištima sa podnim skladištenjem materijala, a i u skladištima koja koriste regale, odnosno regalnim skladištima. Skladišni prostor može biti neiskorišten u horizontalnoj ravnini, vertikalnoj ravnini (visini) ili kombinacija horizontalno-vertikalno.



Slika 11. Horizontal honeycombing [6]

Na Slici 11.a) prikazana je potpuno iskorištena površina gdje dubina skladištenja iznosi četiri jedinična tereta, a skladište se tri različite vrste materijala: A, B i C. Iskorištenost je u ovom slučaju maksimalna. Na Slici 11.b) prikazuje se slučaj *honeycombing*-a. Dva jedinična tereta vrste A i jedan jedinični teret vrste B izuzeti su iz skladišta i ostaju prazne lokacije koje se ne mogu iskoristiti sve dok se ne isprazni cijela gomila (eng. *stack*) jedne vrste proizvoda. U slučaju stavljanja nove vrste materijala na lokacije koje su već predodređene za jednu vrstu materijala dolazi do blokiranja te gomile i nemogućnosti izuzimanja početne vrste iz gomile.



Slika 12. Vertical honeycombing [6]

Do pojave *honeycombing*-a može doći i u vertikalnoj ravnini kako je to prikazano na Slici 12. Na Slici 12.a) prikazana je potpuna iskorištenost u vertikalnoj ravnini gdje su tri različite vrste materijala naslagane u tri razine i iskoristivost visine je maksimalna. Na Slici 12.b) su izuzeta dva jedinična tereta vrste A i jedan jedinični teret vrste B i te lokacije nije moguće iskoristiti da ne bi došlo do blokiranja preostale gomile, time se stvara *honeycombing* koji u konačnici rezultira gubitkom skladišnog prostora i manjom iskoristivosti površine.

Iako *honeycombing* utječe negativno na iskoristivost površine, gotovo nemoguće je izbjeći takvu pojavu. Postoje određena pravila kojima se može umanjiti utjecaj *honeycombing*-a. Jedno od pravila odnosi se na skladišta u kojemu se nalazi više gomila istovrsnog materijala, a koje savjetuje da se u tom slučaju operacije rukovanja materijalom vrše samo na jednoj gomili sve dok se ona potpuno ne isprazni i tek tada se prelazi na drugu gomilu. U tom slučaju će se smanjiti neiskorištenost prostora i neće doći do blokiranja gomila drugom vrstom materijala. Savjetuje se često nadgledanje skladišta, primjerice sa nekog uzvišenog mjesta, gdje se može uočiti neiskorištenost površine ili neke lokacije koje nisu adekvatno iskorištene, primjerice mogu se uočiti gomile čija visina iznosi jedan ili dva jedinična tereta, a skladište dopušta visinu od pet jediničnih tereta. Treba napomenuti i da do pojave *honeycombinga* češće dolazi u podnim skladištima pa se preporuča korištenje regalnih skladišta za neke manje količine materijala.

3.4. FIFO i LIFO metoda izuzimanja jediničnih tereta

Prilikom izuzimanja jediničnih tereta iz skladišta postoje dvije metode koje određuju način izuzimanja jediničnih tereta – FIFO (eng. *First In First Out*) i LIFO (eng. *Last In First Out*). FIFO metoda govori da se iz skladišta izuzimaju prvo oni jedinični tereti koji su u skladište stigli prvi po kalendarskom redu, LIFO metoda govori da se iz skladišta prvo izuzimaju oni jedinični tereti koji su u skladište stigli zadnji po redu. Obje metode donose neke prednosti i nedostatke što se može vidjeti i na sljedećem primjeru u kojemu je objašnjeno kako izgleda FIFO i LIFO metoda u realnoj skladišnoj okolini i što one donose.

Primjer FIFO metode izuzimanja

Poduzeće nastoji prodati 250 komada nekog proizvoda koristeći FIFO metodu. U skladištu se nalaze tri grupe iste vrste proizvoda kupljene na različite datume po različitim cijenama prikazane u Tabeli 1. Potrebno je pronaći troškove prodane robe.

Skupina proizvoda	Datum	Količina [kom]	Cijena/komadu [N.J./kom]	Ukupna cijena [N.J.]
A	3.1.2016.	200	10	2000
B	16.1.2016.	150	12	1800
C	22.1.2016.	130	15	1950

Tabela 1. FIFO metoda primjer

Prateći FIFO metodu prvi proizvodi koji će se izuzimati iz skladišta su proizvodi iz skupine A u količini od 200 komada. S obzirom da je potrebno izuzeti 250 komada, ostalih 50 komada se izuzima iz sljedeće skupine po vremenskom redoslijedu, odnosno iz B skupine proizvoda. Nakon izuzimanja odgovarajuće količine proizvoda potrebno je pronaći troškove prodane robe (eng. *Cost of Goods Sold*). Prodano je 200 komada proizvoda po cijeni od 10 N.J./kom i 50 komada proizvoda po cijeni od 12 N.J./kom pa prema tome troškovi prodane robe iznose: $COGS = 200 \times 10 + 50 \times 12 = 2600$ N.J.

U ovom primjeru uočava se najveći nedostatak FIFO metode. Većinu troškova prodane robe nosi skupina proizvoda A po cijeni od 10 N.J./kom dok aktualna cijena na tržištu u vrijeme prodaje (22.1.2016.) iznosi 15 N.J./kom što znači da dolazi do gubitka u profitu čime se dolazi do zaključka da FIFO metoda ne prati porast prodajne cijene proizvoda.

Primjer LIFO metode izuzimanja

Poduzeće nastoji prodati 250 komada nekog proizvoda koristeći LIFO metodu. U skladištu se nalaze tri grupe iste vrste proizvoda kupljene na različite datume po različitim cijenama prikazane u Tabeli 2. Potrebno je pronaći troškove prodane robe.

Skupina proizvoda	Datum	Količina [kom]	Cijena/komadu [N.J./kom]	Ukupna cijena [N.J.]
A	3.1.2016.	200	10	2000
B	16.1.2016.	150	12	1800
C	22.1.2016.	130	15	1950

Tabela 2. LIFO metoda primjer

Prateći LIFO metodu prvi proizvodi koji će se izuzimati iz skladišta su proizvodi iz skupine C u količini od 130 komada. S obzirom da je potrebno izuzeti 250 komada, ostalih 120 komada izuzima se iz sljedeće skupine po vremenskom redoslijedu, odnosno iz B skupine proizvoda. Nakon izuzimanja odgovarajuće količine proizvoda potrebno je pronaći troškove prodane robe (eng. *Cost of Goods Sold*). Prodano je 130 komada proizvoda po cijeni od 15 N.J./kom i 120 komada proizvoda po cijeni od 12 N.J./kom i prema tome troškovi prodane robe iznose: $\text{COGS} = 130 \times 15 + 120 \times 12 = 3390 \text{ N.J.}$

Na temelju dva primjera može se zaključiti da LIFO metoda bolje prati porast prodajne cijene proizvoda i kratkotrajno donosi veće profite nego FIFO metoda, no postoji problem skladištenja materijala. Naime, materijal koji je stigao prvi u skladište može provesti vrlo dugo vrijeme u skladištu prije izuzimanja što može dovesti do smanjenja kvalitete materijala ili eventualnog propadanja proizvoda čime se gubi na vrijednosti samog skladišta.

Prilikom projektiranja podnih ili regalnih skladišta potrebno je uzeti u obzir prednosti i nedostatke i FIFO i LIFO metode te odlučiti koja donosi veću iskoristivost skladišta, veće profite i veću fleksibilnost.

4. OPTIMALNA DUBINA SKLADIŠTENJA

S ciljem ostvarivanja bolje iskoristivosti slobodne površine razvijeni su mnogi sustavi i metode skladištenja. Svaki od sustava skladištenja s višestrukom dubinom posjeduje određene parametre koji utječu na ukupnu površinu skladišta. U konačnici, jedan od najvažnijih parametara je i dubina skladištenja jediničnih tereta što će biti dokazano u sljedećim poglavljima.

Skladišta s višestrukom dubinom skladištenja su prema [12] najefikasnija u dva ekstremna slučaja: prvi slučaj je kada svi jedinični tereti (cijela parcela) dolaze i odlaze iz skladišta u jednoj pošiljci (eng. *lot-for-lot*), drugi slučaj je kada su sve skladišne lokacije popunjene i jedinični tereti se ne izuzimaju iz skladišta odmah nakon dolaska u skladište već stoje u skladištu neki dulji period vremena. Između dva ekstremna slučaja nalazi se realan slučaj koji pretpostavlja ujednačeno kretanje jediničnih tereta koji ponekad mogu imati i stohastičku (slučajnu) karakteristiku, odnosno ne može se odrediti točan uzorak kretanja materijala. Takvi slučajevi zahtijevaju pomno planiranje i proučavanje različitih metoda i sustava skladištenja prije donošenja konačne odluke.

Proces određivanja optimalne dubine može biti vrlo dugotrajan. Da bi se doskočilo problemu nastoje se izraditi određeni algoritmi, tablice i metode za određivanje optimalne dubine skladištenja kako bi se skratio proces odluke. Iako tablice mogu skratiti proces donošenja odluke, potrebno im je pristupiti s oprezom. Naime, tablice su izrađene s određenim početnim pretpostavkama te je potrebno proučiti koje pretpostavke vrijede za određene izračune te ih sukladno njima primjeniti za određivanje optimalne dubine skladištenja. Pretpostavke mogu primjerice biti: dimenzije jedinice skladištenja, dimenzije skladišne lokacije, širina prolaza za viličara, visina naslagivanja... Prema tim pretpostavkama, odnosno parametrima, potrebno je i dimenzionirati skladište kako bi se zadržala vjerodostojnost podataka dobivenih iz tablica.

Jedna od mnogobrojnih metoda za određivanje optimalne dubine obrađena je i u ovom radu i prilagođena je upotrebi za europske standarde. Metoda je temeljena na literaturi Arta Liebeskinda „*How to Increase Your Warehouse Capacity*“. Literatura je bazirana na američkim standardima te koristi GMA palete kao referentne jedinice skladištenja te američki sustav mjera poznat još pod nazivom Engleske mjere ili standardne mjere. Metoda i tablice su

u radu prilagođene SI sustavu te koriste EURO palete prikazane u poglavlju 4.1. Razlika EURO i GMA paleta opisana je u poglavlju 4.2. Također, prilikom proračuna i objašnjenja korišteni su standardni skladišni pojmovi opisani u poglavlju 4.4.

U prilagodbi metode europskim standardima korištene su usporedbe navedene u Tabeli 3. U literaturi Liebeskinda korišteni su američki standardi.

	Veličine	
	Američki standardi	Europski standardi
Veličina skladišne jedinice	48 inch x 40 inch	1,2m x 0,8 m
Veličina skladišne lokacije	4 ft x 4 ft	1,2 m x 1 m
Pola širine prolaza za viličara	6 ft	1,8 m

Tabela 3. Usporedba američkog i europskog standarda za skladištenje

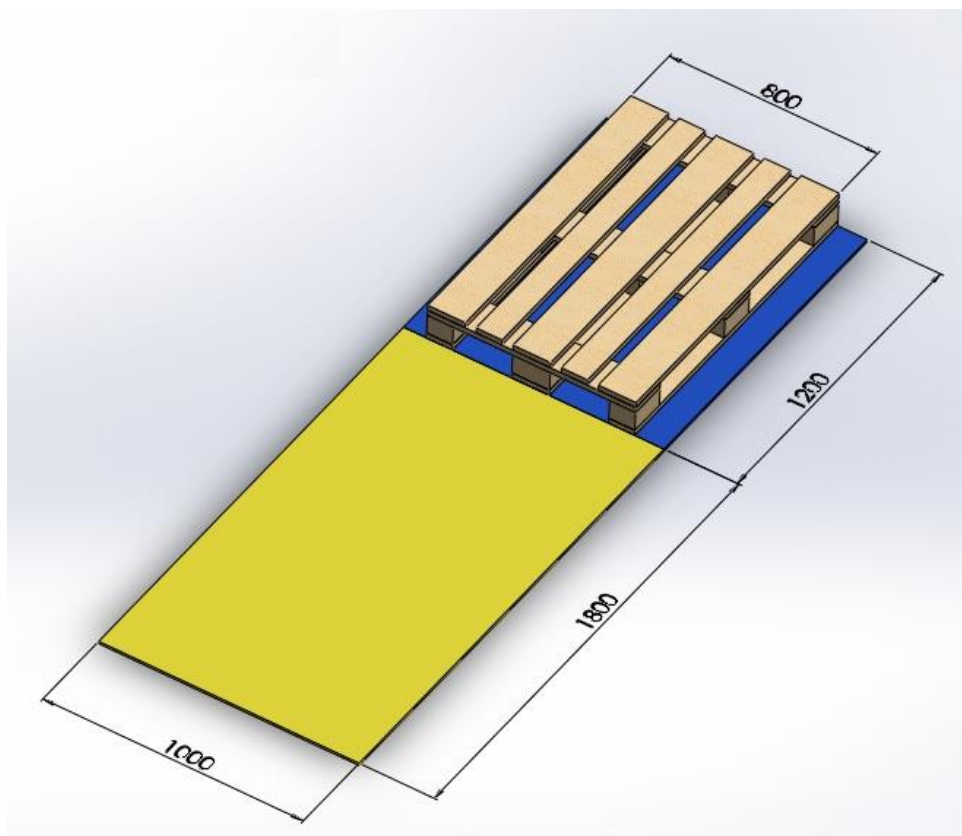
4.1. EURO paleta

Radi lakšeg usklađivanja i povezivanja više skladišta unutar logističkog lanca uvedene su standardne dimenzije paleta. Jedan od oblika standardiziranih paleta je i EURO paleta (eng. *EUR-pallet*) koja se koristi na europskom području. Površina paleta iznosi 0,96 m², dimenzija 1200 x 800 x 144 mm, a težina iznosi 20 – 24 kg. Nosivost paleta iznosi 1500 kg. Paleta je prikazana na Slici 13.



Slika 13. EURO paleta [5]

Prilikom upotrebe EURO palete kao sredstva za skladištenje, njena skladišna površina zauzima veću površinu nego sama paleta radi dodataka za sigurnost. Potrebna skladišna površina za ovu vrstu palete iznosi 1200 x 1000 mm, a za visinu palete se uzima u obzir da ona ne prelazi duljinu najveće stranice, odnosno 1200 mm. Potrebna skladišna površina za EURO paletu ilustrirana je na Slici 14.



Slika 14. Potrebna skladišna površina za EURO paletu

Na Slici 14 plavom je bojom označena potrebna skladišna površina za EURO paletu i ona iznosi 1,2 m² dok je žutom bojom označena polovica širine prolaza za čeonu viličar i njena duljina iznosi 1,8 m odnosno njena površina iznosi 1,8 m². U radu su također korištene ove dimenzije i pomoću njih je izrađen proračun za optimizaciju površine skladištenja.

4.2. Razlika EURO i GMA palete

Kao što je ranije navedeno, standardiziranje paleta uvedeno je kako bi se omogućilo povezivanje više skladišta unutar logističkog lanca i ostvareno je uvođenjem normi s ciljem olakšanja rukovanja jediničnim teretima. Postoje različite vrste standardiziranih paleta te je za primjer na europskom području opisana EURO paleta. Cilj ovoga rada bio je prilagoditi tehnike uštede skladišnog prostora opisanog u literaturi Arta Liebeskinda [12] koja je prilagođena standardima Sjedinjenih Američkih Država te koristi GMA palete. GMA palete su standardne palete korištene na sjevernoameričkom prostoru i njene dimenzije su naznačene u inčima gdje je korelacija s milimetrima opisana u jednadžbi (1):

$$1 \text{ inch} = 0,0254 \text{ m} = 25,4 \text{ mm} \quad (1).$$

Standarna dimenzija GMA paleta iznosi 48" x 40" odnosno 1219,2 x 1016 mm. Potrebna skladišna površina GMA paleta izražena je u stopama. Korelacija stopa s milimetrima prikazana je u jednadžbi (2):

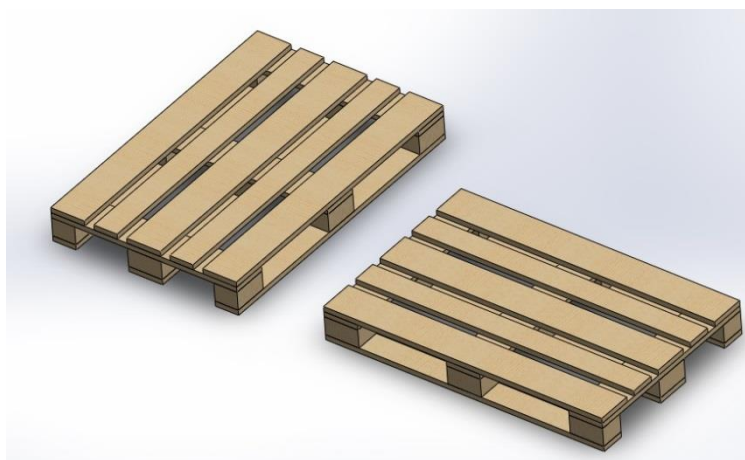
$$1 \text{ stopa (ft)} = 0,3048 \text{ m} = 304,8 \text{ mm} \quad (2).$$

Potrebna površina za skladištenje GMA palete iznosi 4 ft x 4 ft odnosno 1,22 m x 1,22 m izraženo u metričkim jedinicama. Potrebna površina prema tome iznosi 16 ft² odnosno 1,49 m² što je za 0,29 m² više u odnosu na potrebnu površinu za EURO paletu (1,2 m²).

Također, uobičajena širina potrebnog prolaza razlikuje se u odnosu na širinu prolaza u literaturi Liebeskinda. Uobičajena širina prolaza za čeonu viličaru iznosi 3,6 m, odnosno pola širine prolaza iznosi 1,8 m, dok u literaturi nije poznata vrsta viličara koji se koristi za transport jediničnih tereta, a širina prolaza iznosi 6 stopa odnosno 3,66 m. U ovom radu korištena je širina prolaza 3,6 m prilikom proračuna.

4.3. Orijentacija EURO palete

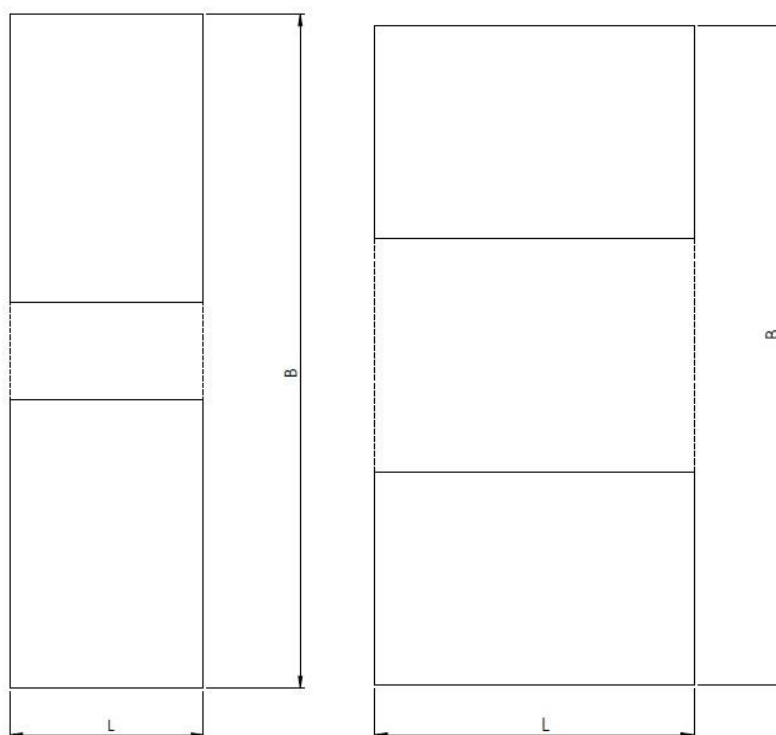
Prilikom korištenja EURO palete potrebno je ispravno odrediti njenu orijentaciju kako bi se postigla maksimalna moguća ušteda prostora. Problematika u orijentaciji objašnjena je pomoću sljedećih ilustracija i proračunom prema [13] koji pokazuje razliku u skladišnoj površini. Postoje dvije moguće orijentacije paleta: uzdužno i poprečno, kako je prikazano i na Slici 15 gdje je na lijevoj strani prikazan uzdužni način dok je na desnoj strani prikazan poprečni način orijentacije paleta.



Slika 15. Moguće orijentacije EURO palete

Radi boljeg razumijevanja prikazan je primjer prema literaturi [13] u kojemu se vrši izračun površina za skladištenje uzdužno i poprečno orijentiranih paleta. Proračun je izveden pomoću dvije EURO palete postavljene kao u skladištu. Uvedene su dvije dimenzije: dužina L i širina B te je pomoću njih dobivena ukupna potrebna površina za odgovarajuću vrstu orijentacije. Razlika između vrste orijentacije i pripadajućih dužina B i L prikazana je na Slici 16.

Potrebno je napomenuti da se u literaturi [13] u navedenom primjeru ne koristi širina prolaza sukladno ovome radu (širina prolaza 3,6 m za čeonu viličar), već se koristi širina prolaza za nepoznati viličar i ona u ovom primjeru iznosi 2,5 m u slučaju uzdužne orijentacije i 2,1 m u slučaju poprečne orijentacije.



Slika 16. Dimenzije orijentiranih paleta (lijevo – uzdužno, desno – poprečno)[13]

Prilikom uzdužne orijentacije paleta potrebna širina prolaza iznosi 2,5 m radi orijentacije viličara, odnosno potrebna je veća širina da bi se viličar mogao okretati. Dimenzija B iznosi dvije dužine paleta i sigurnosni razmak od 0,1 m s svake strane paleta odnosno $2 \times (1,2 + 0,2 \text{ m})$, dok dimenzija L iznosi 1 m radi sigurnosnog razmaka. Ukupna širina pri uzdužnoj orijentaciji iznosi 5,3 m, dok ukupna dužina iznosi 1 m. Potrebna površina uzdužno orijentiranih paleta iznosi $A_u = 5,3 \text{ m}^2$.

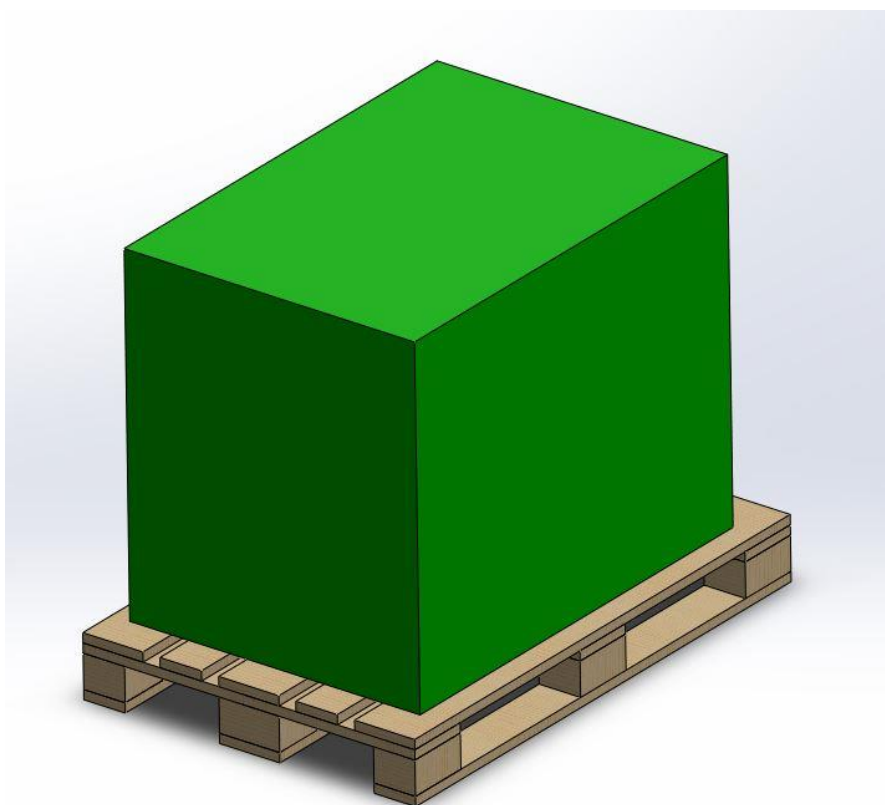
Prilikom poprečne orijentacije paleta potrebna širina prolaza je manja i ona iznosi 2,1 m jer je potrebno manje prostora za okretanje viličara. Dimenzija B sada iznosi $2 \times (0,8 + 0,2 \text{ m})$, dok dimenzija L iznosi 1,4 m radi sigurnosnog razmaka. Ukupna širina pri poprečnoj orijentaciji iznosi 4,1 m, dok ukupna dužina iznosi 1,4 m. Potrebna površina poprečno orijentiranih paleta iznosi $A_p = 5,74 \text{ m}^2$.

Usporedbom dobivenih površina dolazi se do zaključka da uzdužno orijentirane palete donose oko 7% uštede u skladišnom prostoru. Prilikom izrade ovog rada korištena je uzdužna orijentacija paleta i prema njoj je izrađen proračun optimizacije.

4.4. Osnovni pojmovi u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja

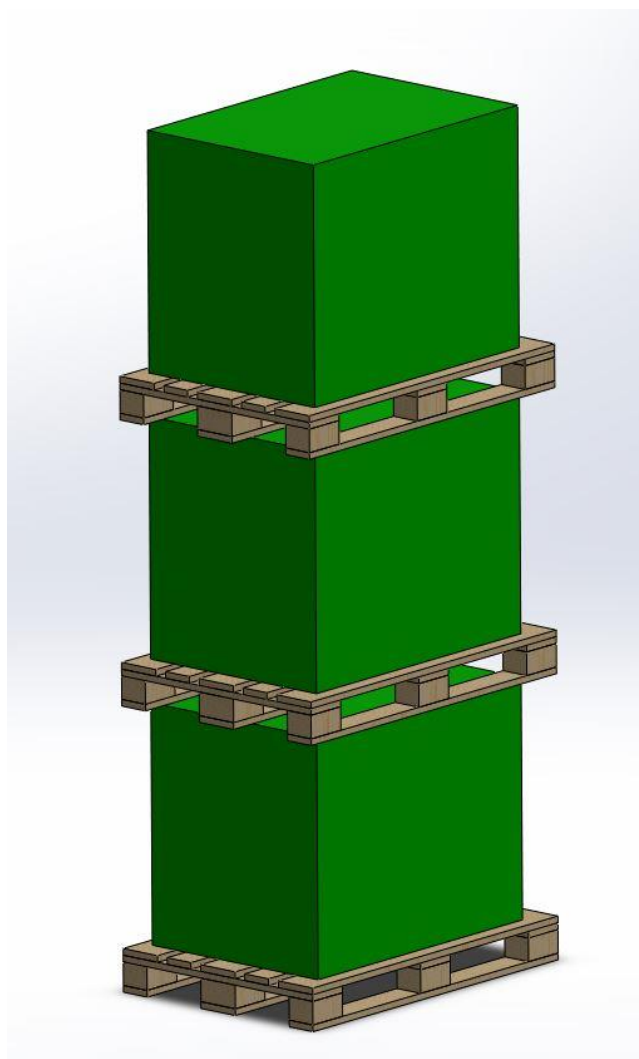
Unutar skladišta s višestrukom dubinom skladištenja postoje osnovni pojmovi koji se koriste kako bi se opisala neka pojava, objekt ili radnja. Pojmovi su prevedeni iz stručne literature na engleskom jeziku te nisu nužno identični pojmovima koji se pronalaze u hrvatskoj literaturi, ali će biti korišteni unutar ovoga rada i aplikacije za optimizaciju kao referentni. Pojmovi su detaljno pojašnjeni slikama koje koriste primjer podnog skladišta s višestrukom dubinom skladištenja.

Jedinični teret (JT) (eng. *load*) – označava jednu EURO paletu sa pripadajućim teretom na njoj



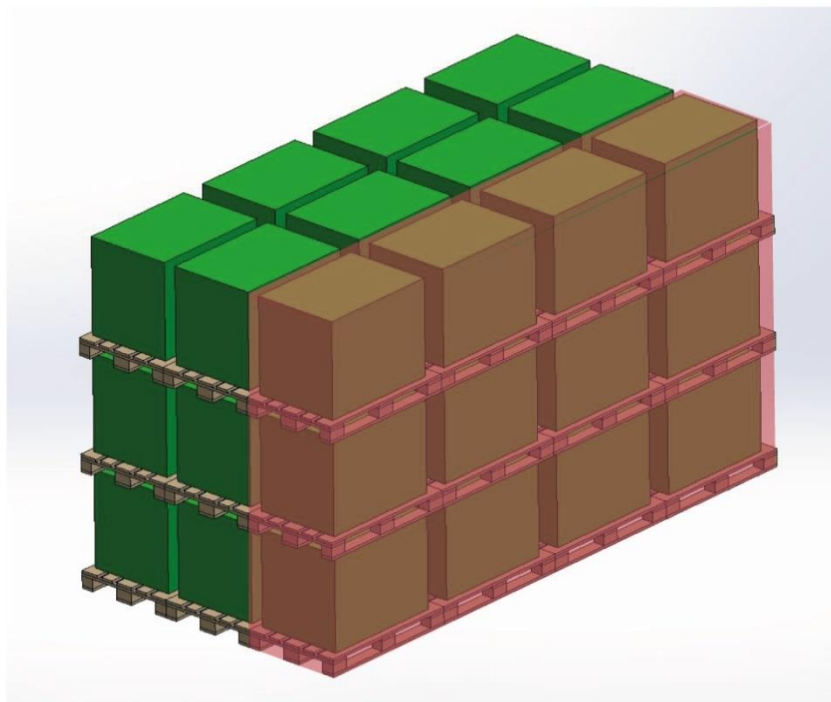
Slika 17. Jedinični teret (eng.load)

Stup, stub (eng. *column*) – označava naslagana tri jedinična tereta u visinu (sukladno literaturi Liebeskinda na kojoj se bazira ovaj rad)



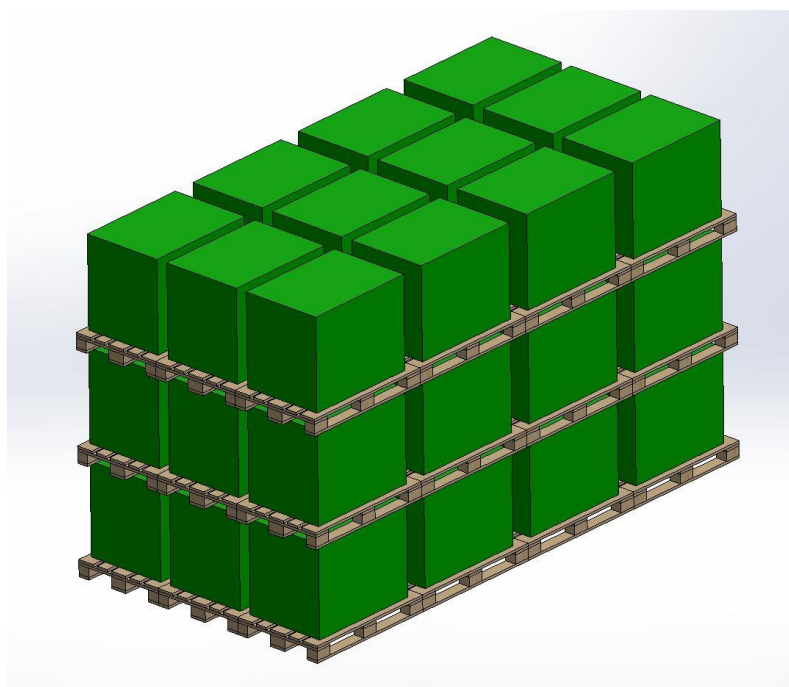
Slika 18. Stup,stub (eng. *column*)

Stog, gomila (eng. *stack*) – označava skup jediničnih tereta (ili stupova) koji se nalaze u jednom redu odnosno zauzimaju jedan red u cijeloj parceli; na Slici 19 stog je označen crvenom bojom



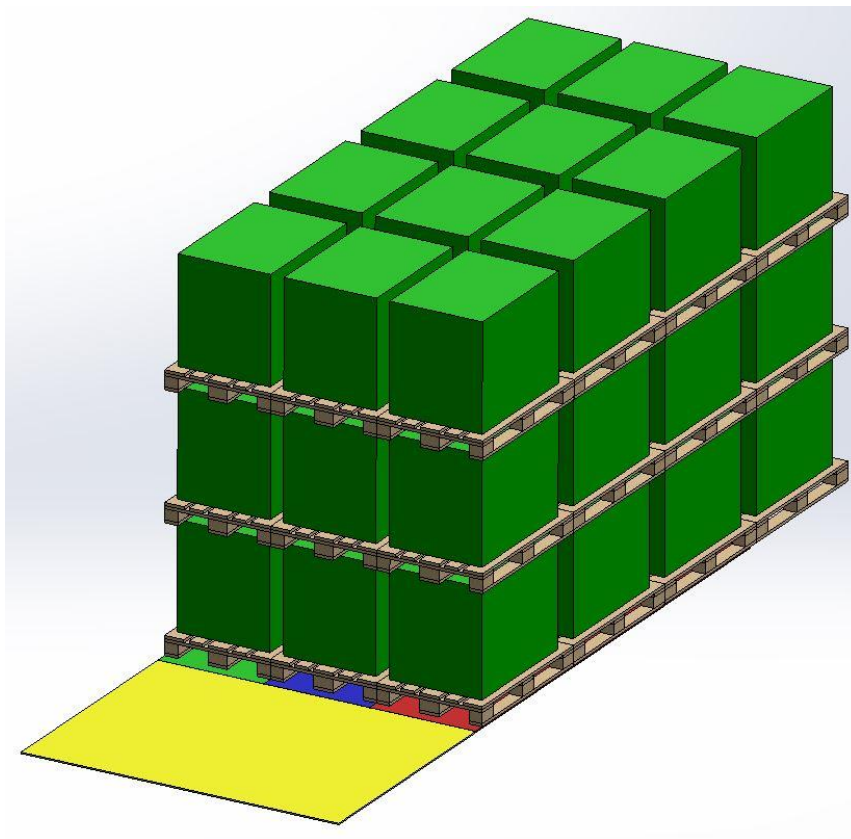
Slika 19. Stog, gomila (eng.*stack*)

Parcela (eng. *lot*) – označava sve jedinične terete koji se nalaze na specifičnoj lokaciji u skladištu



Slika 20. Parcela (eng.*lot*)

U skladištima s višestrukom dubinom skladištenja postoje parametri koji određuju dubinu, širinu i površinu koju zauzima parcela.



Slika 21. Parametri u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja

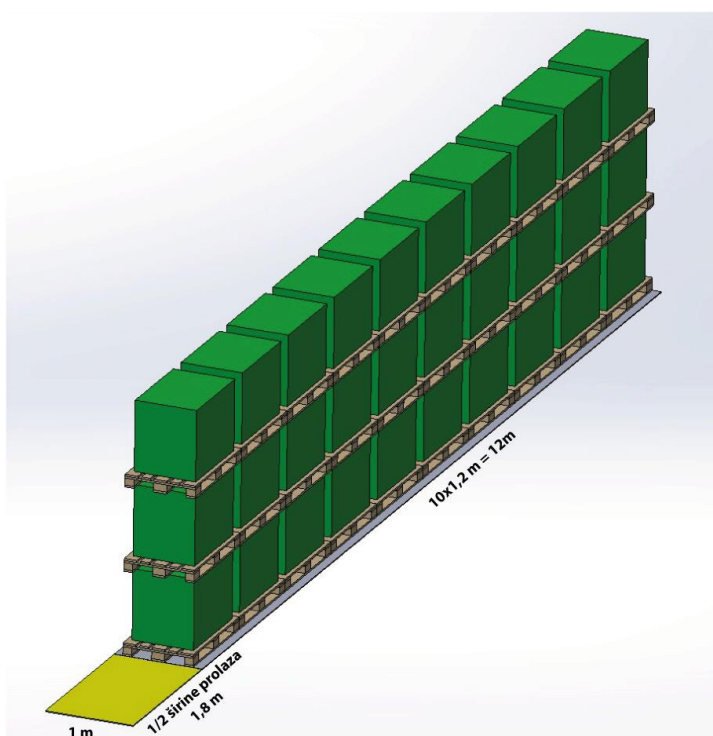
U prikazanom primjeru dubina skladištenja iznosi četiri jedinična tereta što znači da jedan red može po duljini zaprimiti četiri jedinična tereta ili stuba. Broj redova označava ujedno i broj gomila koje se nalaze u jednoj parceli, na Slici 21 redovi su označeni crvenom, plavom i zelenom bojom. Parcela u primjeru sastoji se od tri gomile. Žutom bojom označena je polovica širine prolaza za viličara (prolaz za čeonu viličar iznosi 3,6 metara) i ona iznosi 1,8 metara.

Prilikom proračuna površine potrebno je uzeti u obzir svu površinu koju zauzimaju redovi i prolaz za viličara.

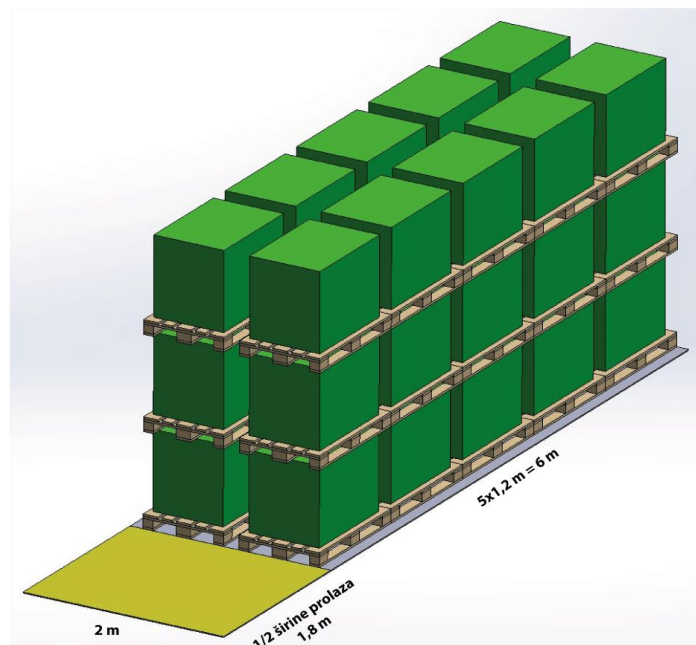
4.5. Problematika višestruke dubine skladištenja

Kako bi se ilustrirala problematika određivanja optimalne dubine skladištenja, odnosno usporedba i objašnjenje skladišnih površina s različitom dubinom skladištenja, u navedenoj literaturi [12] u 4. poglavlju prikazan je primjer skladištenja dvije parcele iste veličine, ali s različitom dubinom skladištenja nakon čega je izračunata potrebna mjesečna površina skladišta za oba slučaja, pretpostavka je da se izuzima jedan jedinični teret dnevno.

U primjeru je zadana parcela veličine 30 jediničnih tereta koji se naslaguju u visinu od 3 jedinična tereta u stubu. Zatim je prikazan proračun potrebne mjesečne skladišne površine za dubinu skladištenja 10 i za dubinu skladištenja 5 skladišnih lokacija. S obzirom da se na parceli nalazi 30 jediničnih tereta i da se izuzima jedan jedinični teret dnevno, dolazi se do zaključka da je potrebno 30 dana da se isprazni cijela parcela. Potrebno je naći koliku površinu u 30 dana zauzimaju skladišne jedinice ovisno o dubini skladištenja.



Slika 22. Primjer A – dubina skladištenja 10 jedinica [12]



Slika 23. Primjer B – dubina skladištenja 5 jedinica [12]

Poznavajući ove podatke moguće je izračunati ukupnu potrebnu skladišnu površinu za broj dana koji je potreban da se isprazne svi jedinični tereti. Prema [12] jednačica za izračun ukupne potrebne površine glasi:

Ukupna potrebna površina = Faktor x Površina stoga x Broj stogova x Potreban broj dana,

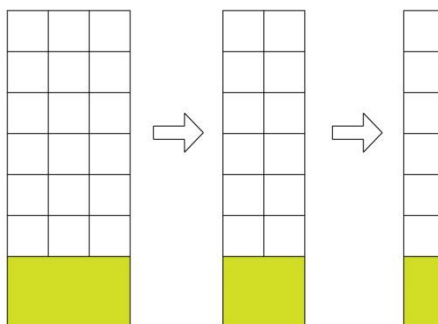
gdje se članovi jednačice prema [12] određuje iz navedenih tabela.

Potrebno je napomenuti da ove tabele vrijede samo za slučaj naslagivanja u visini od tri jedinična tereta sukladno literaturi Liebeskinda i prema toj pretpostavci su izrađene sve tabele i program za optimizaciju skladišta. Iako je navedena visina od tri jedinična tereta, ta visina može iznositi onoliko jediničnih tereta koliko je to dopušteno visinom skladišta ili dopuštenom nosivosti paleta. U slučaju drugih visina naslagivanja ove tabele nisu relevantne te je potrebno izraditi nove tabele.

Faktor					
Broj stogova	Faktor	Broj stogova	Faktor	Broj stogova	Faktor
1	1.0	13	7.0	25	13.0
2	1.5	14	7.5	26	13.5
3	2.0	15	8.0	27	14.0
4	2.5	16	8.5	28	14.5
5	3.0	17	9.0	29	15.0
6	3.5	18	10.0	30	15.5
7	4.0	19	10.5	31	16.0
8	4.5	20	11.0	32	16.5
9	5.0	21	11.5	33	17.0
10	5.5	22	12.0	34	17.5
11	6.0	23	12.5	35	18.0
12	6.5	24	13.0	36	18.5

Tabela 4. Faktor za određivanje potrebne skladišne površine [12]

Faktor u Tabeli 4 povezan je sa *regular whithdrawl* metodom izuzimanja jediničnih tereta objašnjenom u poglavlju 4.7. te objašnjava korelaciju sa brojem stogova i veličinom površine koju oni zauzimaju. Radi boljeg razumijevanja prikazan je primjer sa tri stoga u skladištu u kojemu se jedinični tereti izuzimaju *regular whithdrawl* metodom. U tom slučaju za izuzimanje jednog stoga potrebna je 1/3 od ukupnog vremena izuzimanja.



Slika 24. Faktor za regular whithdrawl

Pogledom na Sliku 24 zaključuje se da će se u skladištu 1/3 ukupnog vremena nalaziti 3 stoga, 1/3 ukupnog vremena će u skladištu biti prisutna dva stoga i 1/3 vremena će se u skladištu nalaziti jedan stog. U tom slučaju faktor se dobiva jednostavnim množenjem:

$Faktor = 1/3 \times 3 + 1/3 \times 2 + 1/3 \times 1 = 2$, što odgovara i prikazanoj Tabeli 4.

Površina stoga [m ²]			
Dubina skladištenja	Površina stoga	Dubina skladištenja	Površina stoga
Jedan	3	Šest	9
Dva	4.2	Sedam	10.2
Tri	5.4	Osam	11.4
Četiri	6.6	Devet	12.6
Pet	7.8	Deset	13.8

Tabela 5. Površina stoga ovisno o dubini skladištenja [12]

Broj stogova na jednoj parceli										
Dubina skladištenja	Jedan	Dva	Tri	Četiri	Pet	Šest	Sedam	Osam	Devet	Deset
Broj JT u jednom stogu	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Broj JT u parceli										
100	34	17	12	9	7	6	5	5	4	4
90	30	15	10	8	6	5	5	4	4	3
80	27	14	9	7	6	5	4	4	3	3
70	24	12	8	6	5	4	4	3	3	3
60	20	10	7	5	4	4	3	3	3	2
50	17	9	6	5	4	3	3	3	2	2
40	14	7	5	4	3	3	2	2	2	2
30	10	5	4	3	2	2	2	2	2	1
20	7	4	3	2	2	2	1	1	1	1
10	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
9	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
8	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
7	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
6	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 6. Broj stogova na parceli [12]

Potrebno je napomenuti da je broj jediničnih tereta u jednom stogu višekratnik broja tri iz razloga što je visina naslagivanja jednaka tri jedinična tereta kako je i pretpostavljeno na početku samog primjera.

Potreban broj dana da se isprazni jedan stog										
Broj JT u jednom stogu	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Upotreba JT u jednom danu										
0.05	60.00	120.00	180.00	240.00	300.00	360.00	xx	xx	xx	xx
0.10	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00
0.20	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	90.00	105.00	120.00	135.00	150.00
0.30	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
0.40	7.50	15.00	22.50	30.00	37.50	45.00	52.50	60.00	67.50	75.00
0.50	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00	36.00	42.00	48.00	54.00	60.00
1.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00
2.00	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00	13.50	15.00
5.00	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00
10.00	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00
20.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50
30.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00

Tabela 7. Potreban broj dana da se isprazni jedan stog [12]

Iz navedenih tablica očitavaju se parametri skladištenja za navedene primjere A i B te se pomoću parametara potom određuje potrebna površina za skladištenje.

	Primjer A	Primjer B
Iz Tabele 6: Broj stogova na parceli	1	2
Iz Tabele 4: Faktor	1.0	1.5
Iz Tabele 5: Površina stoga [m²]	13,8	7,8
Iz Tabele 7: Potreban broj dana da se isprazni jedan stog	30	15

Tabela 8. Parametri za Primjer A i B [12]

Poznavajući sve parametre može se odrediti ukupna potrebna površina za skladištenje. Za primjer A ona iznosi: $Ukupna\ potrebna\ površina = 1 \times 1.0 \times 13.8 \times 30 = 414\ m^2$. Za primjer B ona iznosi: $Ukupna\ potrebna\ površina = 2 \times 1.5 \times 7.8 \times 15 = 351\ m^2$.

Iako se sa Slike 23 i 24 zaključuje da površina u primjeru A sa dubinom od 10 skladišnih jedinica zauzima $13,8 \text{ m}^2$, a površina u primjeru B sa dubinom od 5 skladišnih jedinica zauzima $15,6 \text{ m}^2$, na prvi pogled se zaključuje da je potrebna manja površina za skladištenje sa dubinom 10 skladišnih jedinica, što se u kasnijem proračunu pokazuje kao kriva pretpostavka jer kroz dulje vrijeme površina s dubinom 5 jedinica zauzima manju sveukupnu površinu (351 m^2 u odnosu na 414 m^2). Poznavajući ove rezultate može se uvidjeti osnovni problem određivanja optimalne dubine skladištenja. Krive pretpostavke vrlo su česte bez proračuna kojime se dolazi do optimalne dubine skladištenja što može nositi više negativnih posljedica na poduzeće koje vrši skladištenje materijala. Skladišne površine su financijski zahtjevni objekti i svaki nepotreban trošak prouzrokovan lošim ili ne optimalnim skladištenjem nastoji se izbjeći.

Prema [12] preporuča se često obilaženje skladišnih lokacija kako bi se eliminirala prazna skladišna mjesta ili djelomično popunjena. Također, upozorava se na upotrebu podnih skladišta gdje se u realnim situacijama rijetko događa da su sve skladišne lokacije popunjene, odnosno puno češće dolazi do pojave *honeycombing*-a nego u regalnim skladištima. Autor također preporučuje upotrebu podnih skladišta s velikom dubinom skladištenja samo u slučaju dugotrajnog skladištenja materijala, dok se manje dubine skladištenja preporučuju za materijal koji se deterministički izuzima i nije poznat uzorak izuzimanja jediničnih tereta.

Kako bi se pokazale realne situacije u skladištima s višestrukom dubinom skladištenja te kako bi se odredile optimalne dubine razvijene su tabele i algoritmi koji će dati točne odgovore za ispravne i optimalne veličine parcela i stogova. Prema [12] izrađene su dvije potrebne tabele koje mogu pomoći korisniku u određivanju optimalne dubine skladištenja. Prva tabela sukladna je *lot-for-lot* metodi izuzimanja jediničnih tereta, a druga tabela izrađena je prema *regular withdrawal* metodi izuzimanja.

Površine u tabelama su izražene u metrima kvadratnim [m^2], a visina stuba iznosi tri jedinična tereta.

4.6. Optimalna dubina skladištenja za „lot-for-lot“ metodu izuzimanja jediničnih tereta

Tabela 9 prikazuje potrebne površine skladištenja za parcelu koja se izuzima u jednom rukovanju materijalom (eng. *lot-for-lot*) odnosno ona skladišta u kojima se u jednom prijevozu vrši sav transport materijala u i van skladišta. U tabeli su navedene sve veličine površina za različite dubine skladištenja, a optimalna površina za određenu dubinu skladištenja označena je crvenom bojom.

Broj stubova	Dubina skladištenja									
	Jedan	Dva	Tri	Četiri	Pet	Šest	Sedam	Osam	Devet	Deset
1	3.0	4.2	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
2	6.0	4.2	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
3	9.0	8.4	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
4	12.0	8.4	10.8	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
5	15.0	12.6	10.8	13.2	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
6	18.0	12.6	10.8	13.2	15.6	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
7	21.0	16.8	16.2	13.2	15.6	18.0	10.2	11.4	12.6	13.8
8	24.0	16.8	16.2	13.2	15.6	18.0	20.4	11.4	12.6	13.8
9	27.0	21.0	16.2	19.8	15.6	18.0	20.4	22.8	12.6	13.8
10	30.0	21.0	21.6	19.8	15.6	18.0	20.4	22.8	25.2	13.8
11	33.0	25.2	21.6	19.8	23.4	18.0	20.4	22.8	25.2	27.6
12	36.0	25.2	21.6	19.8	23.4	18.0	20.4	22.8	25.2	27.6
13	39.0	29.4	27.0	26.4	23.4	27.0	20.4	22.8	25.2	27.6
14	42.0	29.4	27.0	26.4	23.4	27.0	20.4	22.8	25.2	27.6
15	45.0	33.6	27.0	26.4	23.4	27.0	30.6	22.8	25.2	27.6
16	48.0	33.6	32.4	26.4	31.2	27.0	30.6	22.8	25.2	27.6
17	51.0	37.8	32.4	33.0	31.2	27.0	30.6	34.2	25.2	27.6
18	54.0	37.8	32.4	33.0	31.2	27.0	30.6	34.2	25.2	27.6
19	57.0	42.0	37.8	33.0	31.2	36.0	30.6	34.2	37.8	27.6
20	60.0	42.0	37.8	33.0	31.2	36.0	30.6	34.2	37.8	27.6

Tabela 9. Optimalna dubina skladištenja za *lot-for-lot* metodu izuzimanja tereta

Primjer izračuna površine za 15 stupova i dubinu skladištenja od 8 jediničnih tereta:

1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,8m ²
1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,8m ²

Slika 25. Skica skladišta s 15 stubova i dubinom 8 JT

$$A_{uk} = 2 \times 8 \times 1,2 \text{ m}^2 + 2 \times 1,8 \text{ m}^2 = 22,8 \text{ m}^2$$

Iz Tabele 9 može se očitati da je za količinu od 15 stupova najmanja površina 22,8 m² koja odgovara dubini skladištenja 8 jediničnih tereta što je ujedno i optimalna dubina skladištenja za tu količinu jediničnih tereta.

4.7. Optimalna dubina skladištenja za „regular whidrawl“ metodu izuzimanja jediničnih tereta

Tabela 10 prikazuje potrebne površine skladištenja za parcelu u kojoj se izuzima jedan stub (3 jedinična tereta) dnevno (eng. *regular whidrawl*). U tabeli su također navedene površine za različite dubina skladištenja, a crvenom bojom označena je optimalna površina za određenu dubinu skladištenja i broj stubova. Također, na Tabelu 10 vežu se Tabela 11 koja pokazuje prosječnu popunjenost skladišnih lokacija i Tabela 12 koja pokazuje gubitak skladišnog prostora po danu.

Broj stubova	Dubina skladištenja									
	Jedan	Dva	Tri	Četiri	Pet	Šest	Sedam	Osam	Devet	Deset
1	3.0	4.2	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
2	9.0	8.4	10.8	13.2	15.6	18.0	20.4	22.8	25.2	27.6
3	18.0	16.8	16.2	19.8	23.4	27.0	30.6	34.2	37.8	41.4
4	30.0	25.2	27.2	26.4	31.2	36.0	40.8	45.6	50.4	55.2
5	45.0	37.8	37.8	66.0	39.0	45.0	51.0	57.0	63.0	69.0
6	63.0	50.4	48.6	79.2	54.6	54.0	61.2	68.4	75.6	82.8
7	84.0	67.2	64.8	118.8	70.2	72.0	71.4	79.8	88.2	96.6
8	108.0	84.0	81.0	132.0	85.8	90.0	91.8	91.2	100.8	110.4
9	135.0	105.0	97.2	178.2	101.4	108.0	112.2	114.0	113.4	124.2
10	165.0	126.0	118.8	250.8	117.0	126.0	132.6	136.8	138.6	138.0
11	198.0	151.2	140.4	270.6	140.4	144.0	153.0	159.6	163.8	165.6
12	234.0	176.4	162.0	290.4	163.8	162.0	173.4	182.4	189.0	193.2
13	273.0	205.8	189.0	422.4	187.2	189.0	193.8	205.2	214.2	220.8
14	315.0	235.2	216.0	448.8	210.6	216.0	214.2	228.0	239.4	248.4
15	360.0	268.8	243.0	475.2	234.0	243.0	244.8	250.8	264.6	276.0
16	408.0	302.4	275.4	580.8	265.2	270.0	275.4	273.6	289.8	303.6
17	459.0	340.2	307.8	666.6	296.4	297.0	306.0	307.8	315.0	331.2
18	513.0	378.0	340.2	699.6	327.6	324.0	336.6	342.0	340.2	358.8
19	570.0	420.0	378.0	838.2	358.8	360.0	367.2	376.2	378.0	386.4
20	630.0	462.0	415.8	871.2	390.0	396.0	397.8	410.4	415.8	414.0

Tabela 10. Optimalna dubina skladištenja za *regular whidrawl* metodu izuzimanja tereta

Važno je napomenuti da u slučajevima kada su u jednom redu dvije crvene površine, tada postoje dvije optimalne dubine skladištenja i izbor je proizvoljan između ta dva slučaja.

Primjer izračuna površine za 16 stubova i dubinu skladištenja od 5 jediničnih tereta:

1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,8m ²
1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,8m ²
1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,2m ²	1,8m ²
1,2m ²					1,8m ²

Slika 26. Skica skladišta s 16 stubova i dubinom 5 JT

$$A_{uk} = 1 \times (20 \times 1,2 \text{ m}^2 + 4 \times 1,8 \text{ m}^2) + 5 \times (15 \times 1,2 \text{ m}^2 + 3 \times 1,8 \text{ m}^2) + 5 \times (10 \times 1,2 \text{ m}^2 + 2 \times 1,8 \text{ m}^2) + 5 \times (5 \times 1,2 \text{ m}^2 + 1,8 \text{ m}^2) = 265,2 \text{ m}^2$$

U Tabeli 11 prikazana je prosječna popunjenost skladišnih lokacija. Površine su dobivene dijeljenjem površina iz Tabele 10 sa potrebnim brojem dana da se isprazni parcela. Potreban broj dana je u ovom slučaju jednak broju stubova s obzirom da se izuzima jedan stub dnevno iz skladišta.

U Tabeli 12 prikazan je gubitak skladišnog prostora po danu koji govori kolika se prosječna površina gubi neispravnom upotrebom neke od dubina skladištenja dnevno. Nule u Tabeli 12 prikazuju optimalne dubine skladištenja.

Broj stubova	Prosječna popunjenost skladišnih lokacija									
	Dubina skladištenja									
	Jedan	Dva	Tri	Četiri	Pet	Šest	Sedam	Osam	Devet	Deset
1	3.0	4.2	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
2	4.5	4.2	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
3	6.0	5.6	5.4	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
4	7.5	6.3	6.8	6.6	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
5	9.0	7.6	7.6	13.2	7.8	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
6	10.5	8.4	8.1	13.2	9.1	9.0	10.2	11.4	12.6	13.8
7	12.0	9.6	9.3	17.0	10.0	10.3	10.2	11.4	12.6	13.8
8	13.5	10.5	10.1	16.5	10.7	11.3	11.5	11.4	12.6	13.8
9	15.0	11.7	10.8	19.8	11.3	12.0	12.5	12.7	12.6	13.8
10	16.5	12.6	11.9	25.1	11.7	12.6	13.3	13.7	13.9	13.8
11	18.0	13.7	12.8	24.6	12.8	13.1	13.9	14.5	14.9	15.1
12	19.5	14.7	13.5	24.2	13.7	13.5	14.5	15.2	15.8	16.1
13	21.0	15.8	14.5	32.5	14.4	14.5	14.9	15.8	16.5	17.0
14	22.5	16.8	15.4	32.1	15.0	15.4	15.3	16.3	17.1	17.7
15	24.0	17.9	16.2	31.7	15.6	16.2	16.3	16.7	17.6	18.4
16	25.5	18.9	17.2	36.3	16.6	16.9	17.2	17.1	18.1	19.0
17	27.0	20.0	18.1	39.2	17.4	17.5	18.0	18.1	18.5	19.5
18	28.5	21.0	18.9	38.9	18.2	18.0	18.7	19.0	18.9	19.9
19	30.0	22.1	19.9	44.1	18.9	18.9	19.3	19.8	19.9	20.3
20	31.5	23.1	20.8	43.6	19.5	19.8	19.9	20.5	20.8	20.7

Tabela 11. Prosječna popunjenost skladišnih lokacija *regular whithdrawl* metoda

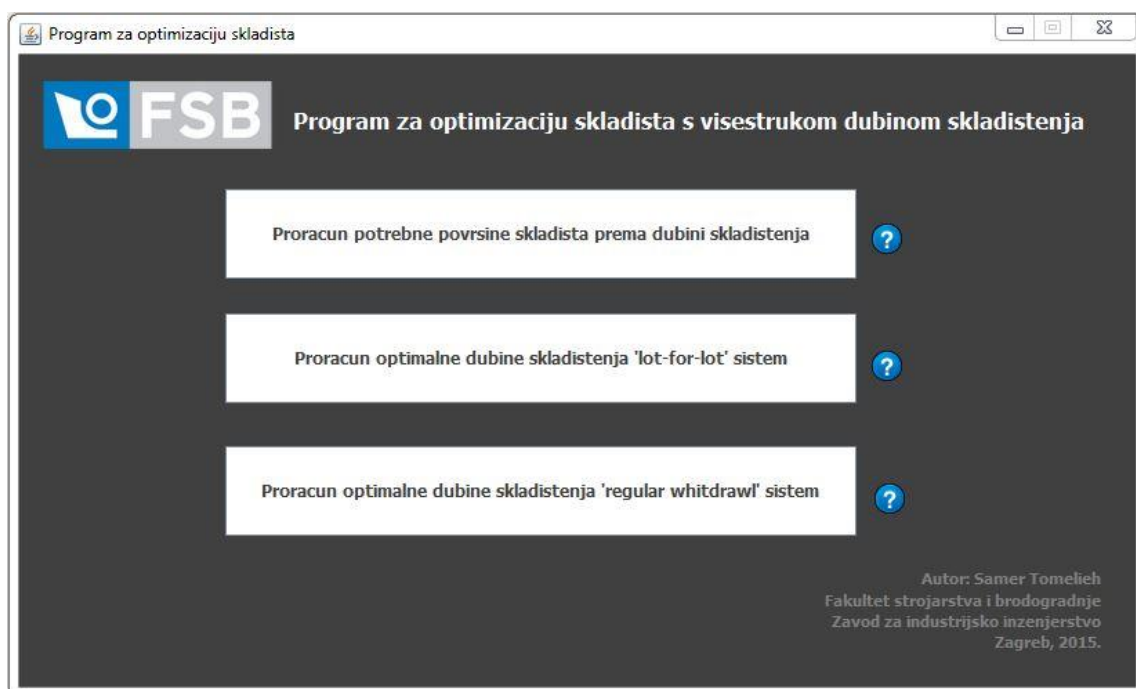
Broj stubova	Gubitak skladišnog prostora po danu									
	Dubina skladištenja									
	Jedan	Dva	Tri	Četiri	Pet	Šest	Sedam	Osam	Devet	Deset
1	0	4.2	5.4	6.6	7.8	9	10.2	11.4	12.6	13.8
2	0.6	0	11	13.2	15.6	18	20.4	22.8	25.2	27.6
3	1.8	0.6	0	19.8	23.4	27	30.6	34.2	37.8	41.4
4	4.8	0	27	26.4	31.2	36	40.8	45.6	50.4	55.2
5	7.2	0	38	66	39	45	51	57	63	69
6	14.4	1.8	0	79.2	54.6	54	61.2	68.4	75.6	82.8
7	19.2	2.4	0	118.8	70.2	72	71.4	79.8	88.2	96.6
8	27	3	0	132	85.8	90	91.8	91.2	100.8	110.4
9	37.8	7.8	0	178.2	101	108	112.2	114	113.4	124.2
10	48	9	1.8	133.8	0	126	132.6	136.8	138.6	138
11	57.6	11	0	270.6	140	144	153	159.6	163.8	165.6
12	72	14	0	290.4	164	162	173.4	182.4	189	193.2
13	85.8	19	1.8	235.2	0	189	193.8	205.2	214.2	220.8
14	104.4	25	5.4	238.2	0	216	214.2	228	239.4	248.4
15	126	35	9	241.2	0	243	244.8	250.8	264.6	276
16	142.8	37	10	315.6	0	270	275.4	273.6	289.8	303.6
17	162.6	44	11	370.2	0	297	306	307.8	315	331.2
18	189	54	16	375.6	3.6	0	336.6	342	340.2	358.8
19	211.2	61	19	479.4	0	360	367.2	376.2	378	386.4
20	240	72	26	481.2	0	396	397.8	410.4	415.8	414

Tabela 12. Gubitak skladišnog prostora po danu

5. APLIKACIJA ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNE DUBINE SKLADIŠTENJA

U sklopu ovog rada razvijena je *Java* aplikacija za određivanje optimalne dubine skladištenja. Aplikacija je izrađena na temelju prikazane literature te uzima u obzir iste pretpostavke opisane u poglavlju 4. Program je razvijen s ciljem bržeg dobivanja informacija o optimalnoj dubini skladištenja ili potrebnim površinama kako bi se korisniku omogućilo optimiziranje skladišta na licu mjesta. S obzirom da je stanje u skladištu dinamičnog i promjenjivog tipa, brže informacije o mogućim poboljšanjima su uvijek dobrodošle.

Aplikacija je sukladno opisanoj literaturi u poglavlju 4. podijeljena na 3 potprograma. Prvi potprogram izračunava potrebnu skladišnu površinu ako su poznata 3 parametra: broj jediničnih tereta, dubina skladištenja i način izuzimanja jediničnih tereta. Drugi potprogram određuje optimalnu dubinu skladištenja prema *lot-for-lot* metodi izuzimanja jediničnih tereta gdje se na temelju upisanog broja jediničnih tereta određuju potrebne površine za sve dubine skladištenja i ispisuje se minimalna (optimalna) dubina skladištenja. Treći potprogram također određuje optimalnu dubinu skladištenja, ali prema *regular whithdrawl* metodi izuzimanja jediničnih tereta.



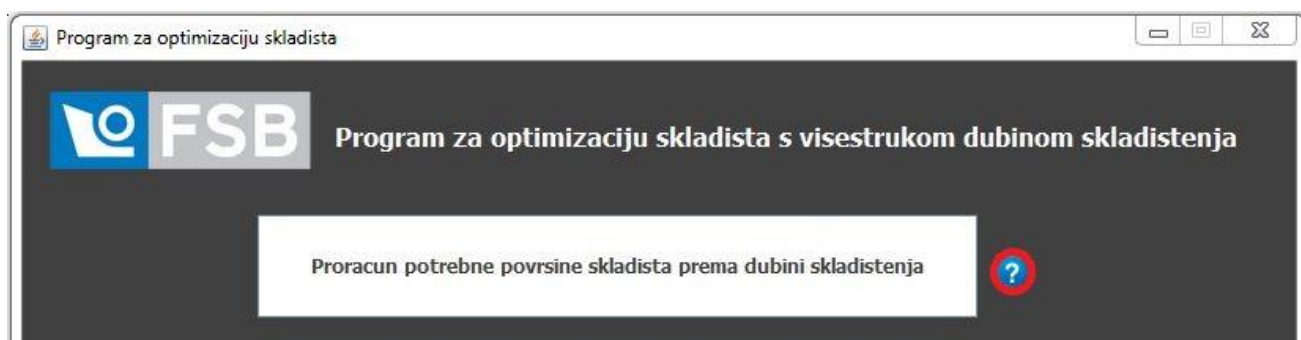
Slika 27. Početna strana aplikacije za optimiziranje skladišta

Potrebno je napomenuti da su u algoritmima za izračun određenih parametara korištene iste pretpostavke koje su korištene u cijelome radu, a to su: upotreba EURO palete sa dodatnim prostorima za sigurnost, širina pola prolaza za čeonu viličaru u iznosu od 1,8 m i visina naslagivanja od 3 jedinična tereta te su korišteni pojmovi opisani u poglavlju 4.4.

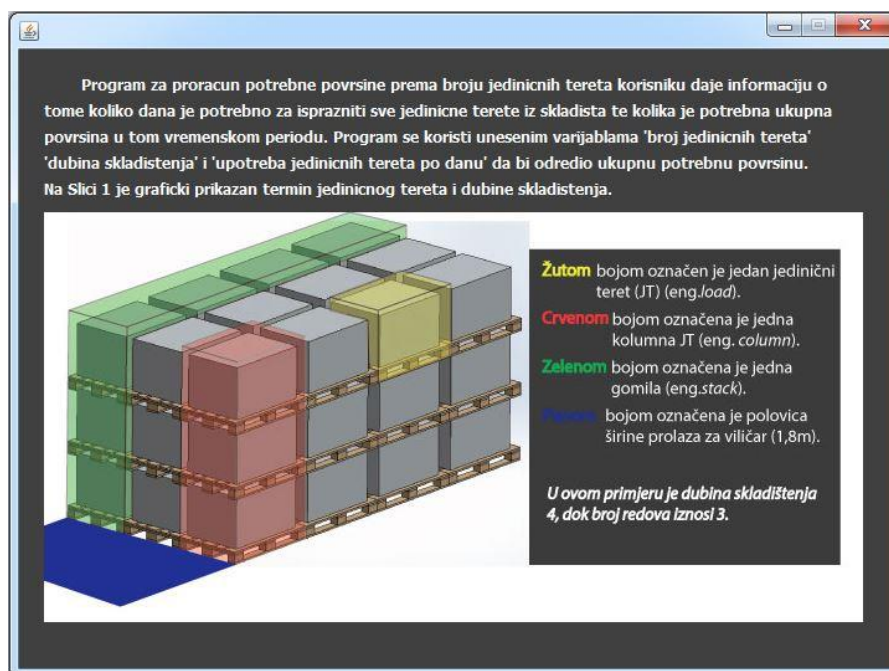
Uz sam rad priložen je i CD sa dokumentima vezanim uz aplikaciju kao i sama aplikacija i cijeli projekt vezan za Java program koji korisnik može otvoriti i pregledati kod cijele aplikacije i algoritme unutar koda.

5.1. Upotreba potprograma za izračun potrebne površine skladištenja prema broju JT i dubini skladištenja

Poznavajući broj jediničnih tereta, dubinu skladištenja i metodu izuzimanja jediničnih tereta moguće je pomoću aplikacije odrediti potrebnu površinu skladištenja. Unosom ovih parametara aplikacija ispisuje i ostale parametre relevantne za izračun same površine kako bi se korisniku ukazale neke informacije koje bi mogle biti od koristi u projektiranju skladišne površine. Prije same upotrebe potprograma korisnik može dobiti informaciju o tome koji su pojmovi i pretpostavke korišteni u potprogramu pritiskom na upitnik pokraj gumba za pokretanje potprograma. Pritiskom na upitnik pojavljuje se novi prozor u kojemu se nalaze objašnjenja osnovnih pojmova vezanih za skladištenje.



Slika 28. Pomoć pri upotrebi potprograma za izračun potrebne površine



Slika 29. Pomoćni potprogram za izračun potrebne površine

U pomoćnom prozoru korisnik može vidjeti osnovnu funkciju programa u tekstu te ilustraciju osnovnih pojmova korištenih u aplikaciji i izračunu.

Pritiskom na gumb 'Proračun potrebne površine skladišta prema dubini skladištenja' u novom prozoru otvara se potprogram za izračun potrebne površine skladištenja.

Proračun površine prema dubini skladištenja

FSB

Molimo unesite parametre skladištenja

Broj jedinичnih tereta

Dubina skladištenja ?

Upotreba jedinичnih tereta po danu

Izračunaj parametre

Broj gomila na jednoj parceli ?

Površina jedne gomile [m2]

Faktor

Broj jedinичnih tereta u gomili

Potreban broj dana da se isprazni gomila

Ukupna površina [m2]

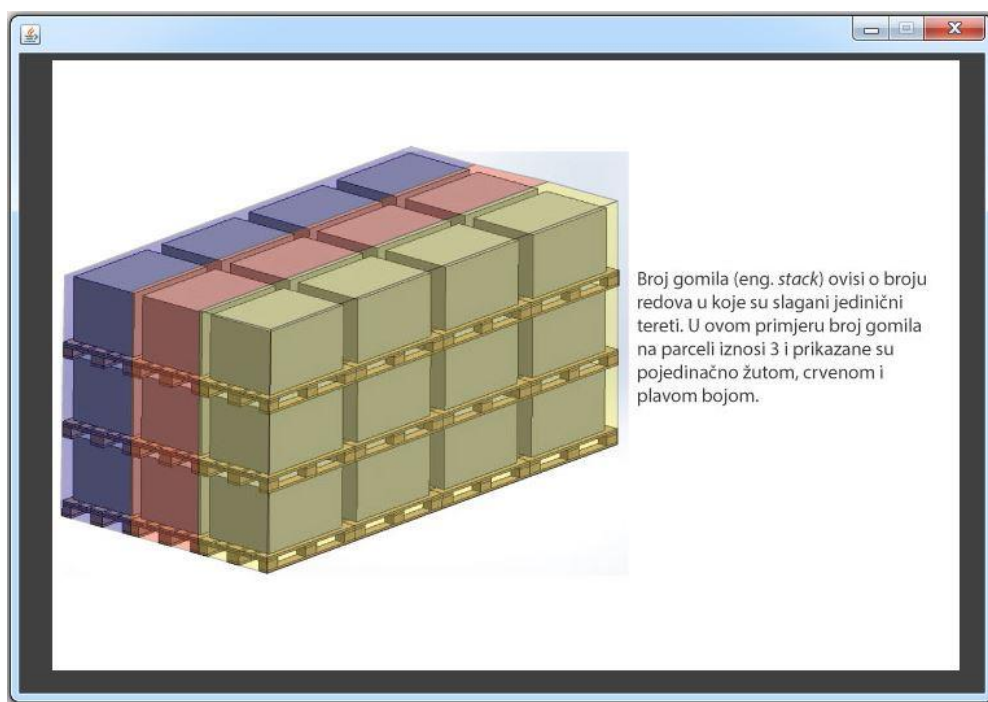
Autor: Samer Tomelieh
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za industrijsko inženjerstvo
Zagreb, 2015.

Slika 30. Potprogram za izračun potrebne površine skladištenja

Nakon otvaranja potprograma prikazuje se novi prozor gdje se mogu upisivati tri parametra: broj jediničnih tereta u skladištu, dubina skladištenja i način izuzimanja odnosno upotreba jediničnih tereta po danu. Također, potrebno je napomenuti da je visina naslagivanja tri jedinična tereta. Pritiskom na upitnik pokraj polja 'Dubina skladištenja' prikazuje se dodatni pomoćni prozor identičan onome na Slici 29 kako bi korisnik mogao imati dva paralelno otvorena prozora s ciljem lakšeg unošenja parametara.

Nakon unosa tri parametra pritiskom na gumb 'Izračunaj parametre' prikazuju se rješenja. Osim ukupne površine prikazuju se dodatne informacije kao što su: broj gomila na jednoj parceli, površina jedne gomile, faktor (izračun faktora prikazan je u poglavlju 4.5.), broj jediničnih tereta u gomili, potreban broj dana za izuzimanje jedne gomile i ukupna potrebna površina za skladištenje jediničnih tereta.

Također, pritiskom na upitnik pokraj polja 'Broj gomila na jednoj parceli' otvara se dodatni pomoćni prozor koji prikazuje dodatno objašnjenje pojma *gomila*.



Slika 31. Dodatno pojašnjenje pojma gomila

Za bolje razumijevanje rada aplikacije u sljedećim primjerima biti će unešeni parametri iz poglavlja 4.5. sa dubinom skladištenja 10 i 5 jedinica i 30 jediničnih tereta. U literaturi se navodi da se izuzima jedan jedinični teret dnevno i taj parametar unešen je u aplikaciju.

Proracun površine prema dubini skladištenja

FSB

Molimo unesite parametre skladištenja

Broj jedinичnih tereta	30
Dubina skladištenja	10
Upotreba jedinичnih tereta po danu	1

Izracunaj parametre

Broj gomila na jednoj parceli	1
Površina jedne gomile [m2]	13.8
Faktor	1.0
Broj jedinичnih tereta u gomili	30.0
Potreban broj dana da se isprazni gomila	30.0
Ukupna površina [m2]	414

Autor: Samer Tomelieh
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za industrijsko inženjerstvo
Zagreb, 2015.

Slika 32. Primjer A iz problematike skladištenja

Proracun površine prema dubini skladištenja

FSB

Molimo unesite parametre skladištenja

Broj jedinичnih tereta	30
Dubina skladištenja	5
Upotreba jedinичnih tereta po danu	1

Izracunaj parametre

Broj gomila na jednoj parceli	2
Površina jedne gomile [m2]	7.8
Faktor	1.5
Broj jedinичnih tereta u gomili	15.0
Potreban broj dana da se isprazni gomila	15.0
Ukupna površina [m2]	351

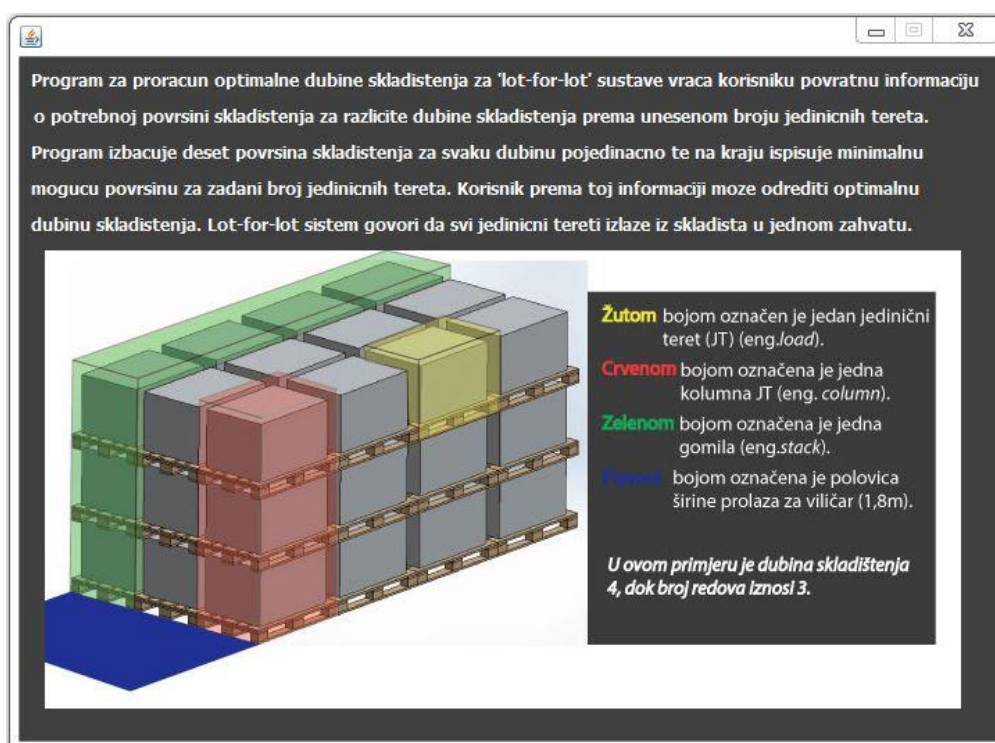
Autor: Samer Tomelieh
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za industrijsko inženjerstvo
Zagreb, 2015.

Slika 33. Primjer B iz problematike skladištenja

Može se zaključiti da površine odgovaraju onim prikazanim u poglavlju 4.5. ovog rada, no do njih se dolazi na puno brži način, a prikazane su i dodatne informacije za zadane parametre.

5.2. Upotreba potprograma za određivanje optimalne dubine skladištenja lot-for-lot metodom izuzimanja

Prema broju jediničnih tereta moguće je odrediti optimalnu dubinu skladištenja s obzirom na veličinu potrebne površine za *lot-for-lot* metodu izuzimanja. Program prati algoritam koji određuje površine svih dubina skladištenja te ispisuje minimalnu potrebnu površinu za skladištenje prema čemu korisnik tada može pronaći kojoj dubini skladištenja ona pripada. Također, pritiskom na upitnik pokraj gumba za otvaranje potprograma korisnik može saznati detaljno objašnjenje *lot-for-lot* metode izuzimanja jediničnih tereta pri čemu se otvara novi prozor.



Slika 34. Objašnjenje potprograma *lot-for-lot* metodom izuzimanja

Za bolje razumijevanje rada aplikacije prikazati će se unešeni parametri opisani u poglavlju 4.6. gdje je detaljno prikazan način izračuna površine za *lot-for-lot* metodu izuzimanja tereta. Aplikacija računa sve potrebne površine na identičan način kako je prikazano u poglavlju 4.6. te ispisuje sve potrebne podatke i minimalnu potrebnu površinu. Potrebno je napomenuti da je unešeno 45 jediničnih tereta što odgovara 15 stubova s pretpostavkom visine naslagivanja 3 jedinična tereta.

Proracun optimalne dubine skladištenja lot-for-lot

FSB

Molimo unesite parametre skladištenja

Broj jedinичnih tereta

Izracunaj optimalnu dubinu

Dubina je oznacena slovom 'd', prikazane su površine za različite dubine skladištenja:

d=1	45.0	m2	d=6	27	m2
d=2	33.6	m2	d=7	30.6	m2
d=3	27	m2	d=8	22.8	m2
d=4	26.4	m2	d=9	25.2	m2
d=5	23.4	m2	d=10	27.6	m2

Minimalna površina za zadani broj jedinичnih tereta iznosi **22.8** m2

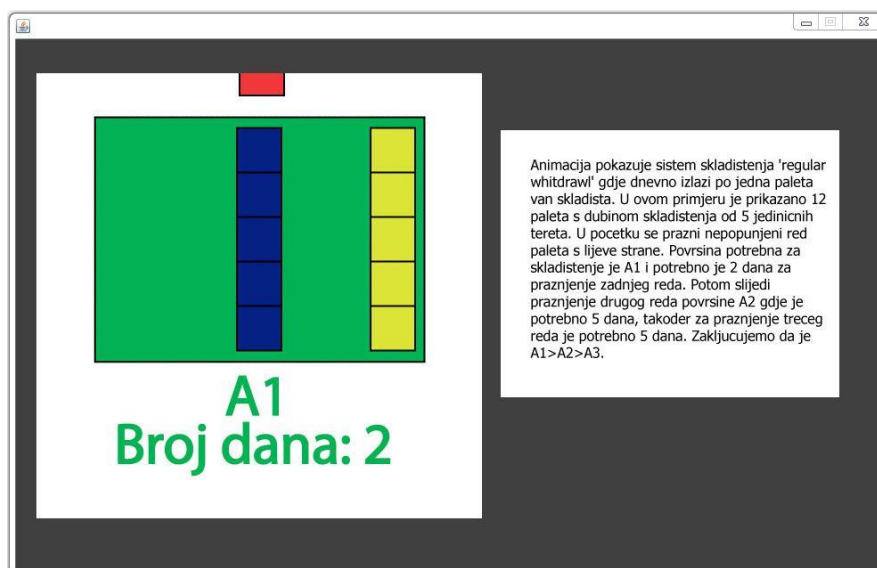
Autor: Samer Tomelieh
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za industrijsko inženjerstvo
Zagreb, 2015.

Slika 35. Potprogram za izračun optimalne dubine skladištenja *lot-for-lot*

Usporedbom s tabelom navedenom u poglavlju 4.6. može se zaključiti da vrijednosti potrebnih površina odgovaraju onima u tabeli i da minimalna površina odgovara crveno označenoj površini za 15 stubova. Prednost aplikacije je što za razliku od tabela može računati površine za bilo koju količinu jedinичnih tereta čime se dobiva značajna prednost i brzina u projektiranju skladišta.

5.3. Upotreba potprograma za određivanje optimalne dubine skladištenja regular whitdrawl metodom izuzimanja

Prema broju jediničnih tereta moguće je odrediti optimalnu dubinu skladištenja s obzirom na veličinu potrebne površine za *regular whitdrawl* metodu izuzimanja. Program prati algoritam koji određuje površine svih dubina skladištenja te ispisuje minimalnu potrebnu površinu za skladištenje prema čemu korisnik tada može pronaći kojoj dubini skladištenja ona pripada. Također, pritiskom na upitnik pokraj gumba za otvaranje potprograma korisnik može saznati detaljno objašnjenje *regular whitdrawl* metode izuzimanja jediničnih tereta pri čemu se otvara novi prozor koji prikazuje animaciju ovakvog načina izuzimanja jediničnih tereta.



Slika 36. Objašnjenje *regular whitdrawl* metode izuzimanja JT

Korisnik može pratiti animaciju te uvidjeti na koji način se površina mijenja odnosno o broju stogova na parceli te na koji način se izuzimaju jedinični tereti. U ovom potprogramu pretpostavljeno je, sukladno literaturi, da se izuzima jedan jedinični teret dnevno, iako u stvarnosti količine izuzimanja mogu biti drugačije.

Za bolje razumijevanje rada aplikacije prikazati će se unešeni parametri opisani u poglavlju 4.7. gdje je detaljno prikazan način izračuna površine za *regular whitdrawl* metodu izuzimanja tereta. Aplikacija računa sve potrebne površine na identičan način kako je prikazano u poglavlju 4.7. te ispisuje sve potrebne podatke i minimalnu potrebnu površinu.

Potrebno je napomenuti da je uneseno 48 jediničnih tereta što odgovara 16 stubova s pretpostavkom visine naslagivanja 3 jedinična tereta.

Proracun optimalne dubine skladištenja regular whidrawl

FSB

Molimo unesite parametre skladištenja

Broj jediničnih tereta

d=1	408	m2	d=6	270	m2
d=2	302.4	m2	d=7	275.4	m2
d=3	275.4	m2	d=8	273.6	m2
d=4	580.8	m2	d=9	289.8	m2
d=5	265.2	m2	d=10	303.6	m2

Minimalna površina za zadani broj jediničnih tereta iznosi m2

Autor: Samer Tomelieh
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zavod za industrijsko inženjerstvo
Zagreb, 2015.

Slika 37. Proračun optimalne dubine skladištenja *regular whidrawl* metodom izuzimanja

Usporedbom s tabelom navedenom u poglavlju 4.7. može se zaključiti da vrijednosti potrebnih površina odgovaraju onima u tabeli i da minimalna površina odgovara crveno označenoj površini za 16 stubova. Prilikom upotrebe aplikacije potrebno je uzeti u obzir da ove vrijednosti odgovaraju samo u slučaju pretpostavke naslagivanja 3 jedinična tereta u visinu i izuzimanja jednog jediničnog tereta dnevno.

6. ZAKLJUČAK

Izradom proračuna za različite dubine skladištenja moguće je smanjiti utjecaj troškova, optimizirati površine u skladištu i ubrzati tok materijala.

Pri izradi proračuna potrebno je odrediti pretpostavke prema kojima se oni izvode, a koje vrijede samo za određen tip skladišta. S obzirom kako skladištenje uvijek nosi veliki dio troškova, a ne pridonosi samoj vrijednosti proizvoda, nastoji se smanjiti neiskorištenost prostora i povećati efikasnost.

U odabiru skladišnih rješenja potrebno je pristupiti s oprezom s obzirom da se neka rješenja koja se u početnoj fazi projektiranja skladišta čine optimalna i pokazuju da donose veću iskoristivost, detaljnom analizom dolazi se do zaključka da ponekad odabrana rješenja pri dugoročnoj upotrebi pokazuju negativan utjecaj na iskoristivost površine, a u nekim slučajevima i veće dugoročne troškove nego ostala rješenja. Pri projektiranju je potrebno uzeti u obzir da su skladišta vrlo dinamični objekti gdje ponekad pretpostavke nisu ispravne i nemoguće je predvidjeti određene situacije i u tom slučaju se može dogoditi da se dva rješenja čine optimalnima što dovodi do pometnje. U tom slučaju potrebno je detaljno analizirati sva rješenja i napraviti predviđanja događaja koji mogu utjecati na efektivnost rješenja.

Osim samih parametara kao što je dubina skladištenja, potrebno je posvetiti veliku pažnju odabiru metoda skladištenja, naročito pri izboru između podnih i regalnih skladišta gdje prednosti i nedostaci određene metode mogu imati veliki utjecaj na troškove skladištenja, ali i na sigurnost radnika, opreme i samog objekta. Za izbor metoda skladištenja potreban je iskusan, interdiscipliniran i stručan tim koji ima dovoljno znanja i iskustva u odabiru optimalnog rješenja.

U konačnici, efikasnost odabranog rješenja i dubine skladištenja gotovo uvijek se pokazuju kroz dugoročno korištenje i savjetuje se da se odabrano rješenje učestalo provjerava i da se izrađuju novi proračuni, primjerice pomoću prikazane aplikacije u poglavlju 4 ovoga rada. Savjetuje se i upotreba programa sličnih opisanoj aplikaciji radi bržih i jednostavnijih odabira rješenja i mogućih optimizacija samog skladišta na licu mjesta.

LITERATURA

- [1] Oluić, Č.: Skladištenje u industriji, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.
- [2] Oluić, Č.: Predavanja – Tehnička logistika, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [3] http://www.aalhysterforklifts.com.au/uploads/blog/Floor_Pallet_Stacking.JPG
(7.12.2015.)
- [4] <http://www.1stoprackservices.com/wp-content/gallery/drive-indrive-through/drive-in-product-page-4.jpg> (28.12.2015.)
- [5] <http://www.europallets.lt/Files/Image/EPAL-EPAL.jpg> (28.12.2015.)
- [6] Tompkins J., Smith J.: The Warehouse Management Handbook, Raleigh, 1998.
- [7] <http://www.atlanticrack.com/wp-content/uploads/2014/08/Selective-Pallet-Rack-System-2-1024x630.jpg> (9.2.2016.)
- [8] <http://www.econorack.com/files/Racking/Double%20Deep/Hi%20Res/Double%20Deep%20HR.jpg> (31.1.2016.)
- [9] <http://www.1stoprackservices.com/wp-content/gallery/drive-indrive-through/drive-in-product-page-2.jpg> (31.1.2016.)
- [10] <https://mts2013.files.wordpress.com/2013/03/33.jpg> (31.1.2016.)
- [11] <http://www.kdlsystems.co.uk/wp-content/uploads/2012/12/push-back.jpg> (31.1.2016.)
- [12] Liebeskind, A.: How to Increase Your Warehouse Capacity, Tulsa, SAD, 2010.
- [13] B. M. de Koster, R.: Warehouse Math, Rotterdam, Nizozemska, 2010.

PRILOG

CD – priložena mapa sa projektom vezanim za aplikaciju u obliku .class datoteka; aplikacija za izračun optimalne dubine skladištenja